Una nuova strategia per combattere i tumori

Le Scienze

Aprile 2014 € 4,50

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Siamo alle soglie di una rivoluzione delle leggi della fisica?

Il dilemma del protone

Neuroscienze

Lo studio delle supermemorie getta nuova luce sul funzionamento del cervello

Storia della scienza

In piena guerra fredda, l'Italia svolse un ruolo decisivo nelle ricerche sulla penicillina

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA - RIVISTA MENSILE - NUMERO 548

IN COPERTINA

Un nuovo esperimento ha trovato per il raggio del protone un valore diverso rispetto a quello di esperimenti del passato. Questa anomalia implica che gli scienziati dovranno rivedere le leggi della fisica? (Immagine: Tavis Coburn)

Sommario

aprile 2014 numero 548

DINAMICA DEI FLUIDI

82 Il trucco del filo

di Neil M. Ribe, Mehdi Habibi e Daniel Bonn

Si avvolgono su loro stessi, dondolano, si piegano, serpeggiano. Sottili fili di miele, olio e altri liquidi viscosi riescono a fare cose che i fisici non hanno ancora capito del tutto

FISICA

30 Il dilemma del protone

di Jan C. Bernauer e Randolf Pohl

Due esperimenti hanno ottenuto valori significativamente diversi per il raggio del protone. Che cosa succede?

NEUROSCIENZE

38 Memorie prodigiose

di James L. McGaugh e Aurora LePort

Alcune persone ricordano eventi di vent'anni prima con un dettaglio quasi identico a quelli vissuti ieri

ENERGIA

44 La lunga, lenta ascesa di solare ed eolico

di Vaclav Smil

La speranza di una transizione rapida e travolgente alle energie rinnovabili è una mera illusione

MEDICINA

50 Una strategia esotica per domare il cancro

di Rakesh K. Jain

Nei tumori, le cellule e una sostanza densa chiamata matrice possono comprimere i vasi sanguigni e impedire l'ingresso dei farmaci. I ricercatori però potrebbero aver scoperto una nuova strategia con cui aprire i vasi sanguigni e ripristinare l'efficacia delle terapie

MATEMATICA

58 Mai dire mai

di David J. Hand

Non c'è nulla di cui stupirsi quando avvengono eventi apparentemente improbabili, miracolosi, straordinari. Anche nel caso in cui gli stessi sei numeri risultano vincenti alla lotteria due volte di seguito

STORIA DELLA SCIENZA

62 La guerra fredda della penicillina

di Mauro Capocci

Subito dopo la seconda guerra mondiale l'Italia assume un ruolo cruciale nella produzione dell'antibiotico, in un mondo diviso tra Stati Uniti e Unione Sovietica

COMPORTAMENTO ANIMALE

70 Cervello(ni) di gallina

di Carolynn «K-lynn» L. Smith e Sarah L. Zielinski

I polli sono intelligenti, e capiscono il mondo in cui vivono; questo solleva inquietanti domande sul trattamento che subiscono negli allevamenti intensivi

TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE

76 MIND GAMES. Videogiochi a scuola

di Alan Gershenfeld

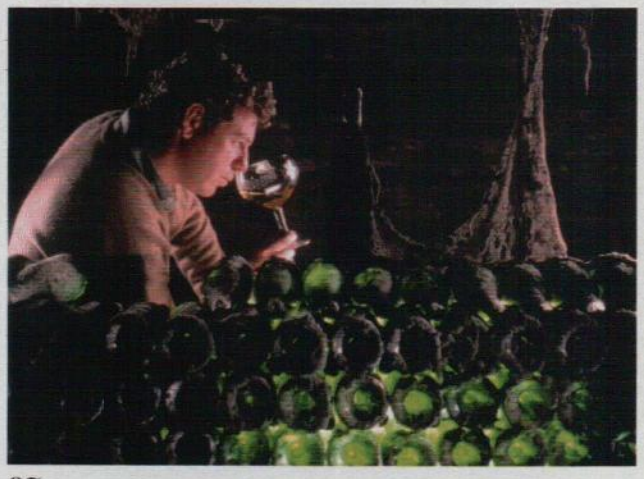
I giochi digitali hanno le carte in regola per trasformare il metodo d'insegnamento nelle scuole. Prima, però, autori dei videogiochi, insegnanti e genitori devono superare le reciproche diffidenze e andare oltre le apparenze

Damien Ropero

Sommario

14

17



97

Rubriche

7 Editoriale
di Marco Cattaneo

8 Anteprima

10 Lavori in corso

12 Intervista
Quando lo scienziato inganna *di Marta Paterlini*

14 Made in Italy
La bicicletta del futuro *di Letizia Gabaglio*

16 Scienza e filosofia
Un'eredità di informazioni *di Telmo Pievani*

17 Appunti di laboratorio
Volo in formazione *di Edoardo Boncinelli*

18 Il matematico impertinente
L'importanza dell'undici *di Piergiorgio Odifreddi*

19 Astri & Particelle
Onde gravitazionali, finalmente *di Roberto Battiston*

20 Homo sapiens
Il mistero dell'Acheuleano *di Giorgio Manzi*

89 Coordinate
Le basi della viralità *di John Matson*

90 Rudi matematici
Lettere di primavera
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

92 Libri & tempo libero

96 Povera scienza
L'unicità del fiocco di neve *di Paolo Attivissimo*

97 Pentole & provette
La variabile dell'assaggiatore *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

21 Biodiversità italiana sotto stress
22 Una nuova massa per il neutrino?
22 Gocce quantistiche di materia condensata
23 Un monopolo per Dirac
23 Vetro super resistente
24 La geometria evolutiva della vita
24 Orme umane di un milione di anni fa in Europa
25 Un nuovo meccanismo per l'aerosol
26 Alle origini del dimorfismo sessuale
26 Pluricellulari senza ossigeno?
26 L'azoto e le forme viventi complesse
27 Prevedere le mutazioni dei virus influenzali
27 Il Gange è colonizzato da superbatteri resistenti agli antibiotici
28 Brevissime

Corbis Tecnologie Urbane (*bicicletta*), Frans Lemmens/Corbis (*uccelli*), Louie Psihoyos/Corbis (*degustatore*)

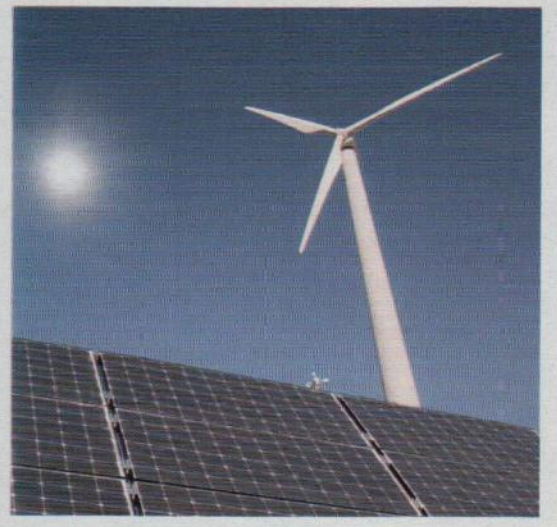
di Marco Cattaneo

Lentamente rinnovabili

La transizione a queste fonti di energia non sarà rapida

Venerdì 4 aprile, al Teatro Civico di Tortona, sono in programma due eventi per ricordare Enrico Bellone, scomparso il 16 aprile di tre anni fa. Al mattino due incontri dedicati ai giovani e all'informazione scientifica, accompagnati dalla presentazione di un premio promosso dall'Associazione ex allievi del liceo Peano in collaborazione con il Parco Scientifico Tecnologico di Tortona. La sera, invece, si parla di scienza, società e politica, un tema che gli era particolarmente caro.

Di qui probabilmente anche la passione per le politiche energetiche, che condivideva con Felice Ippolito, suo predecessore alla guida della rivista e indimenticato *manager* della ricerca scientifica e tecnologica italiana. Entrambi avrebbero apprezzato lo spirito – privo di condizionamenti ideologici e saldamente ancorato ai dati – con cui Vaclav Smil, uno dei massimi esperti mondiali di energia, affronta il tema delle grandi transizioni energetiche globali, a pagina 44.



Stefan Klein/Imagebroker/Corbis

Smil prende spunto da una considerazione sorprendente: «Gran parte delle persone pensa che nel XIX secolo [...] il consumo energetico mondiale sia stato dominato dal carbone, che il XX secolo sia stato l'epoca del petrolio e che il secolo corrente apparterrà alle energie rinnovabili». Nei primi due casi, la risposta è certamente sbagliata. E molto probabilmente anche nel terzo.

L'Ottocento fu infatti il secolo del legno e dei residui delle colture. Il Novecento, invece, è stato piuttosto il secolo del carbone. Nel 1840, infatti, osserva Smil, il carbon fossile arrivava a malapena al 5 per cento dei consumi globali. E gli ci vollero sessant'anni, fino alla fine del secolo, perché arrivasse a soddisfare il 50 per cento della domanda di energia primaria. Lo stesso accadde al petrolio tra il 1915 e il 1975, mentre il gas naturale in sessant'anni, a partire dal 1930, è riuscito a malapena a passare dal 5 al 25 per cento dei consumi.

Ai giorni nostri ci affidiamo ai combustibili fossili per l'80 per cento dei consumi energetici globali, anche per l'aumento dei consumi di paesi come Cina e India. Mentre le nuove rinnovabili come eolico e solare, a dispetto della crescita degli ultimi anni, sono al 3,5. Davanti a questi numeri, ci sono due interrogativi. Il primo è quasi una domanda retorica: perché la transizione alle rinnovabili dovrebbe essere molto più rapida delle precedenti? Ci sarebbero ottime ragioni, che vanno al di là del cambiamento climatico. Ma anche seri ostacoli, come l'indispensabile, radicale adeguamento delle infrastrutture. In soldoni, un sistema gigantesco e complesso come il sistema energetico globale ha un'inerzia che potrebbe impedirci di ridurre anche di poco quel periodo di sessant'anni.

Il secondo, «che fare?», non ha risposte scontate. Smil sottolinea il ruolo dell'efficienza energetica, tra le altre risorse disponibili. Ma non dobbiamo nasconderci che il cammino sarà lungo e pieno di insidie.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore associato filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

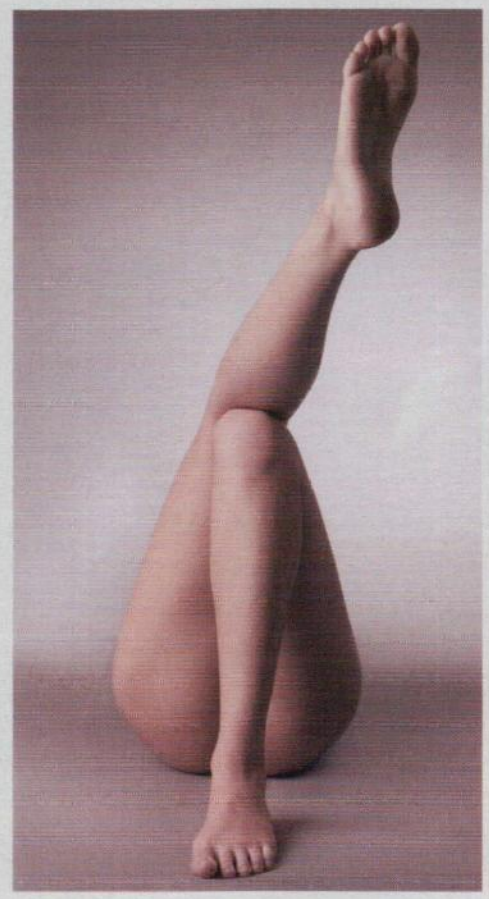
Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

La scienza degli argomenti tabù

Le forme del desiderio, di Jesse Bering, è il libro in edicola con il numero di maggio

Viviamo nell'età della conoscenza, tuttavia ci sono ancora argomenti ritenuti sconvenienti da affrontare, non necessariamente in una conversazione con sconosciuti, ma addirittura in discussioni che tengano conto di argomentazioni scientifiche. Senza girarci troppo attorno, una categoria di questi argomenti tabù riguarda la sfera sessuale della nostra specie, per esempio la forma dei genitali maschili e femminili, o le cosiddette parafilie, ovvero disturbi psicosessuali caratterizzati da fantasie o atti anomali oppure perversi, e l'elenco potrebbe essere molto lungo. A questa autocensura sociale non corrisponde però una mancanza di attenzione da parte dei ricercatori, come mostra *Le forme del desiderio*, il libro di Jesse Bering in edicola con «Le Scienze» di maggio e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni.



Il volume è diviso in otto sezioni, ciascuna delle quali «è dedicata a un tema o a un'area specifica, e vi offre un campionario delle stranezze strabilianti tipiche di noi esseri umani», ed è a sua volta divisa in piccoli saggi, di cui molti già pubblicati su «Scientific American» e «Slate». Si parte con l'anatomia maschile, e anche in questo caso, senza troppi giri di parole la domanda a cui tenta di rispondere Bering, PhD in psicologia e ora scrittore a tempo pieno, è: perché il pene ha la forma che ha? Poi si passa al cannibalismo e si continua attraversando parafilie varie. È solo l'inizio, ma attenzione: se già state storcendo la bocca, sbagliate di grosso.

Bering è consapevole del terreno scivoloso su cui cammina, ma non lascia mai spazio al sensazionalismo, o magari peggio. Ogni tema è sempre e solo inquadrato nel contesto degli studi scientifici che riguardano la nostra specie, come illustra la ricca bibliografia al termine di ogni esposizione, e in alcuni casi può fare emergere quesiti filosofici profondi. Per esempio nel caso della zoofilia, dopo la cui lettura potreste arrivare a mettere in dubbio le vostre stesse pulsioni sessuali, come è successo all'autore.

Il tono del libro è per lo più leggero, ma non tutto è uno spasso, il lettore è avvertito, e non potrebbe essere altrimenti, quando Bering affronta il tema del suicidio o temi funerari come le convinzioni nell'aldilà e il culto dei morti. Anche se è difficile negare che il capitolo sui danni neurologici che rendono le persone più focose dal punto di vista sessuale non strappi più di un sorriso. Sebbene in realtà sia un esempio di un filone nobile della neuroscienza, che cerca di fare luce sulla relazione tra attività cerebrale e comportamento studiando casi in cui il cervello ha subito danni.

La sana sfrontatezza di Bering esplora anche temi con un legame stretto con l'attualità, per esempio il caso dell'omofobia o l'emergere del senso religioso visto dalla prospettiva della psicologia evolutiva, o magari semplicemente curiosi. Probabilmente vi sorprenderà scoprire che un'analisi dell'evoluzione dei peli pubici o dell'acne rivela lo stretto grado di parentela tra la nostra specie e le altre scimmie, che poi è lo stesso risultato ottenuto con l'analisi dei rispettivi genomi, o che l'adorazione feticista dei piedi mostra che quello che eccita da adulti è in realtà collegato a esperienze infantili, spesso innocenti.

In questa altalena tra temi sociali e individuali una cosa resta bene impressa in mente: anche dagli argomenti di cui siamo soliti tacere, c'è molto da imparare. Anzi, forse soprattutto da quelli.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni non abilitati).

La stessa offerta è valida per acquistare i volumi della collana **I grandi della scienza** nella nuova edizione al prezzo di € 6,90 incluso il prezzo di spedizione.

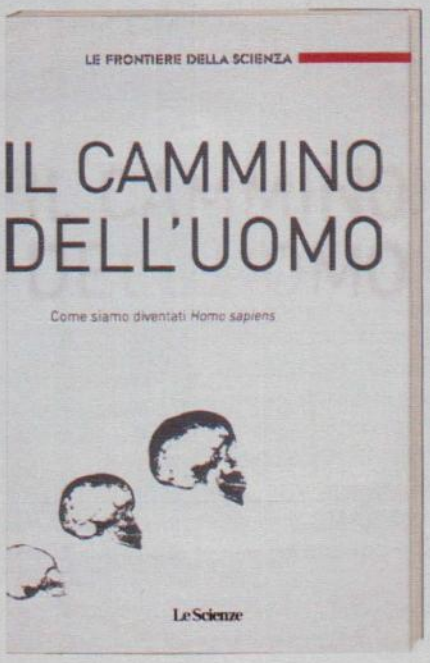
Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

Edvard March/Corbis

La storia della nostra specie

È in edicola il secondo volume della collana *Le Frontiere della Scienza*

Come fu che diventammo umani? È uno dei grandi interrogativi a cui tenta di rispondere la scienza ancora oggi, perché sono tante le questioni aperte nello studio dei nostri antenati e di quello delle specie umane che li hanno preceduti o accompagnati per un lungo arco di tempo. Scordatevi la paleoantropologia lenta e polverosa di decine di anni fa. Ora grazie a tecniche di analisi genetica e di indagine dei fossili sempre più sofisticate, e anche grazie all'esplosione delle neuroscienze e del loro contributo in ambito evolutivo, la ricerca che indaga sulle nostre origini è più viva che mai, come illustra *Il cammino dell'uomo*, il secondo volume della collana *Le Frontiere della Scienza*, in edicola a 6,90 euro in più con il numero di aprile.



In effetti, la raccolta di undici articoli già pubblicata su «Le Scienze» e che hanno come tema l'evoluzione di *Homo sapiens* è ricca di colpi di scena ancora oggi irrisolti. Per esempio, per lungo tempo i paleoantropologi hanno ipotizzato che gli esseri umani discendessero da un antenato simile allo scimpanzé e che i primi fossili umani fossero riconducibili tutti a una sola linea di discendenza. Questo scenario però è stato smentito da scoperte recenti, come spiega uno degli articoli, le quali hanno invece suggerito che l'ultimo antenato tra uomo e scimpanzé non somigliava a quest'ultimo e che i nostri primi antenati in Africa non erano soli.

Quello appena descritto è un classico della paleoantropologia degli ultimi anni, ovvero la messa in discussione di uno scenario evolutivo ritenuto solido, che come in una reazione a catena porta a modificare anche altri scenari collegati, rendendo il quadro del cammino di *Homo sapiens* poco chiaro, ma forse per questo ancora più affascinante. Come nel caso della scoperta nel 2004 sull'isola indonesiana di Flores di fossili di una specie umana piccola e relativamente primitiva dal punto di vista morfologico, che avrebbe convissuto con la nostra specie fino a 13.000 anni fa. Una scoperta che ha sconvolto diversi ambiti della paleoantropologia e delle scienze evolutive, visto che prima della comparsa di *Homo floresiensis* nella galleria dei nostri antenati la documentazione fossile indicava che l'ultimo nostro parente con cui avevamo convissuto era l'uomo di Neanderthal, scomparso misteriosamente circa 30.000 anni fa.

Da quel momento in poi eravamo considerati gli unici sopravvissuti del nostro genere, e invece tutto è stato messo in discussione dal cranio dell'uomo di Flores, che poteva ospitare un cervello di 400 centimetri cubi, un terzo del nostro. Ed è stato messo ulteriormente in discussione nel 2009 dalla scoperta nei monti Altaj, in Siberia, di fossili datati 40.000 anni fa di un'altra misteriosa specie umana del passato, l'uomo di Denisova, che avrebbe convissuto con la nostra specie per un'altra trentina di migliaia di anni.

Homo floresiensis e *Homo neanderthalensis* sono a modo loro esempi di interrogativi di tipo diverso che ancora oggi danno tanto lavoro ai ricercatori. Se l'arrivo del primo ha letteralmente rivoluzionato la paleoantropologia, che addirittura ancora dibatte sulla sua collocazione nella galleria dei nostri antenati, nel caso dei Neanderthal il quadro è relativamente più chiaro, ma ancora siamo lontani dallo scrivere la parola fine, come illustra una serie di articoli in cui si fa il punto sulle capacità cognitive, sulle relazioni tra la nostra specie e quella neanderthaliana, e sulla sua misteriosa fine.

Già da ora si può scommettere su nuove sorprese riguardo al cammino evolutivo che ha portato a *Homo sapiens*. L'innovazione delle tecniche di sequenziamento genetico inizia a dare indicazioni su flussi di geni tra specie umane diverse e coeve. Il nostro passato quindi potrebbe essere ancora più intricato di quanto si possa pensare.

RISERVATO AGLI ABBONATI

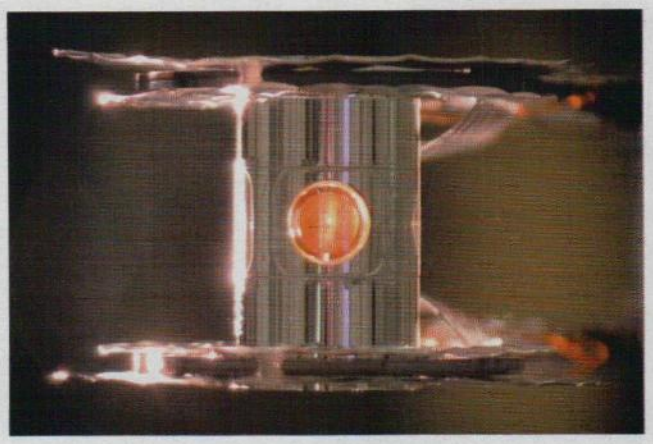
Gli abbonati possono acquistare l'intera collana dei volumi **Le frontiere della scienza** al prezzo scontato di €33,00 anziché €41,40 telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni non abilitati) oppure scrivendo all'indirizzo e-mail lescienzevendite@somedia.it. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).

a cura di Giovanni Spataro

Il guadagno della fusione

Ottenuto un guadagno netto di energia in un test di laboratorio di fusione nucleare

Storico passo avanti per gli esperimenti di fusione nucleare che puntano a sfruttare questa fonte di energia, la stessa che permette alle stelle di brillare, per la produzione di elettricità. Con uno studio pubblicato su «Nature», Omar Hurricane, del Lawrence Livermore National Laboratory, e colleghi hanno dimostrato di avere ottenuto un guadagno netto di energia in un processo di fusione alla statunitense National Ignition Facility. I ricercatori hanno indirizzato 192 fasci laser su una capsula di combustibile, una miscela di deuterio e trizio, dal peso di qualche grammo contenuta in un cilindro (*nella foto*) chiamato *holhraum*. La fusione di deuterio e trizio ha liberato un'energia maggiore di quella che ha colpito il combustibile: un primato che permette di sperare nell'altro grande obiettivo, cioè una reazione di fusione autostenuta (si veda *La falsa partenza della fusione*, in «Le Scienze» n. 501, maggio 2010).



Dosi da Fukushima

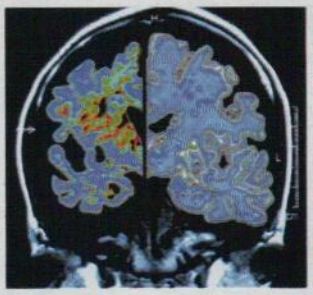
Breve ritorno. Febbraio 2013, moglie e marito a Namie, nella zona di esclusione, dove vivevano prima dell'incidente.

A tre anni dall'incidente alla centrale nucleare di Fukushima-Daiichi provocato dal terremoto e dal successivo tsunami l'11 marzo 2011, Kouji H. Harada dell'Università di Kyoto e colleghi di altri istituti giapponesi hanno stimato l'esposizione alle radiazioni per il 2012 dei residenti in tre aree (Kawauchi, Tamano e Haramachi) comprese tra 20 e 50 chilometri dall'impianto. I risultati, pubblicati sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», hanno mostrato che gli abitanti di queste aree, a ridosso della zona ad accesso interdetto, delimitata da un raggio di 20 chilometri attorno alla centrale, hanno ricevuto in un anno una dose di 2 millisievert associata all'incidente, dovuta principalmente a isotopi radioattivi del cesio. Di fatto è una dose una equivalente a quella ricevuta anno dalla popolazione giapponese da fonti naturali.

Harada e colleghi, che hanno monitorato 483 volontari fra agosto e settembre 2012, hanno anche stimato l'aumento per il rischio di ammalarsi di alcuni tumori in futuro a causa dell'esposizione alle dosi di radioattività successive al 2012. Nelle tre aree considerate, l'incidente alla centrale porterà a un'incidenza aggiuntiva di tumori solidi dell'1,06 per cento, di leucemia dello 0,03 per cento e di tumore del seno dello 0,28 per cento (si veda *Il rischio da radiazioni ionizzanti*, in «Le Scienze» n. 532, dicembre 2012). Per gli autori sono fluttuazioni così esigue che probabilmente non saranno rilevabili dal punto di vista epidemiologico. Questa ultima stima del rischio però non include la dose di radiazioni assorbita prima delle misurazioni del 2012.

Anticipare l'Alzheimer

Uno degli spettri che si aggira per il mondo a causa dell'invecchiamento della popolazione mondiale è l'Alzheimer. Oggi questa malattia, che distrugge i neuroni e colpisce per la quasi totalità dei casi in età avanzata, è diagnosticabile solo dopo la comparsa dei sintomi, e questa perdita di tempo prezioso potrebbe aver causato il fallimento di farmaci che invece potrebbero essere efficaci se presi prima di uno stadio conclamato di Alzheimer. Ecco perché è cruciale sviluppare un test diagnostico che rilevi la malattia prima della comparsa dei sintomi (si veda *Prevenire le ombre dell'Alzheimer*, in «Le Scienze» n. 504, agosto 2010).



Confronto. A destra un cervello normale, a sinistra di paziente con Alzheimer: si noti la distruzione di tessuto cerebrale.

Ora su «Nature Medicine», Mark Mapstone, dell'Università di Rochester, ha mostrato che i livelli nel sangue di dieci molecole lipidiche, grazie a cui si valuta l'integrità delle membrane dei neuroni, permettono di prevedere l'insorgenza dei primi segni di deficit cognitivo da Alzheimer con 2-3 anni di anticipo e un'accuratezza del 90 per cento. Ma per arrivare ad applicazioni cliniche saranno necessarie altre sperimentazioni.

La Cina è terza

Secondo il rapporto *Science and Engineering Indicators* pubblicato dalla statunitense National Science Foundation, la Cina è terza nella classifica delle pubblicazioni scientifiche, preceduta solo da Stati Uniti, al primo posto, e dall'Unione Europea a 28 Stati. Se si considerassero i singoli paesi europei, i cinesi sarebbero addirittura secondi al mondo.

Il risultato è figlio di una crescita media delle pubblicazioni cinesi del 15 per cento all'anno tra 2001 e 2011, a sua volta figlia di una crescita continua degli investimenti in ricerca come percentuale del prodotto interno lordo (PIL), sempre nello stesso arco temporale. Oggi la Cina investe quasi il 2 per cento del PIL in ricerca, di fatto come l'Europa, contro l'1 per cento del 2001, e intende crescere ancora (si veda *Può continuare l'ascesa della Cina?*, in «Le Scienze» n. 532, dicembre 2012).

Cortesia Lawrence Livermore National Laboratory (*holhraum*, Franck Robichon/epa/Corbis (*Fukushima*); Pasieka/Science Photo Library/Corbis (*cervello*)

di Marta Paterlini

Quando lo scienziato inganna

Daniele Fanelli studia le frodi nella scienza, un problema che influisce sul rapporto tra ricercatori e pubblico e sull'obiettività della conoscenza scientifica

La crescente pressione esercitata sui ricercatori per la pubblicazione di risultati autorevoli potrebbe avere effetti negativi sulla qualità della ricerca scientifica. Di pari passo cresce quindi l'interesse per la cattiva condotta nella ricerca, perché anche gli scienziati possono «barare» nel presentare i loro risultati. Il metodo con cui si valuta il «peso» di uno scienziato è il numero di ricerche e il valore positivo che viene dato a esse. Ma è sempre vero che pubblicare tanto equivale a pubblicare risultati realmente? Ne discutiamo con Daniele Fanelli, che si occupa di integrità della scienza e della comunicazione scientifica all'Università di Montreal.

Ci spiega la sua virata professionale, dall'ecologia evoluzionista alla ricerca sull'integrità della scienza passando per il giornalismo scientifico?

Alla base c'è una passione per la scienza unita a un idealismo via via frustrato dall'esperienza. Nel mio campo avevo la crescente impressione che la maggior parte dei risultati fossero esagerati, se non proprio falsi. Non ero certo il solo fra i miei colleghi, ma per me il fatto era forse più indigesto che per altri. Mi sono lentamente disaffezionato alla ricerca e ho iniziato con il giornalismo. Mi piaceva molto, ma ho incontrato presto la stessa frustrazione.

Il giornalismo scientifico dovrebbe informare il pubblico e invece spesso punta più a cercare di intrattenere. Molte distorsioni che affliggono la scienza sono amplificate nel giornalismo scientifico. Ma è stato facendo giornalismo che ho scoperto ricercatori che iniziavano a studiare questi problemi, soprattutto in biomedicina. Ho capito che potevo usare le loro tecniche per studiare le frodi su scala più ampia in tutte le discipline e ho scritto un progetto all'Unione Europea per farlo. Ho vinto il finanziamento e mi sono ritrovato all'Università di Edimburgo ad analizzare dati.

Quale è stato il primo importante contributo nella sua nuova veste professionale?

Ho effettuato una meta-analisi, che è un modo rigoroso di mettere insieme diversi valori per avere un quadro complessivo, su sondaggi rivolti a ricercatori nel campo della biomedicina negli Stati Uniti. In diverse occasioni erano stati distribuiti questionari anonimi a ricercatori di varia estrazione e di vari paesi chiedendo loro se avessero mai falsificato dati o manipolato risultati. In pratica ho tirato le somme su quello che in forma anonima i ricercatori stessi ammettono riguardo a quello che hanno fatto: il 2 per cento ha fabbricato, falsificato o modificato dati o risultati almeno una volta, e il 14 per cento è a conoscenza di colleghi che lo hanno fatto. Un risultato che ha fatto molto discutere.

Uno zero in condotta ai ricercatori, quindi?

La percentuale è sicuramente più alta di quanto molti si aspet-

CHI È

Daniele Fanelli è *visiting professor* all'Università di Montreal, dove studia l'integrità nella ricerca e nella comunicazione scientifica.

Dopo la laurea in scienze naturali all'Università di Firenze ha ottenuto il dottorato in ecologia evolutiva sulle vespe tropicali lavorando tra le Università di Firenze e Copenhagen. Poi ha studiato comunicazione scientifica all'Università di Milano, e ha iniziato a collaborare con «New Scientist», «l'Espresso» e «Le Scienze».

Dopo aver vinto una borsa di studio europea Marie Curie arriva all'Università di Edimburgo, in Scozia, dove ha cominciato a occuparsi di frodi e distorsioni nella scienza. Fa parte della commissione per l'etica della ricerca e la bioetica del Consiglio nazionale delle ricerche.

Cortesia Daniele Fanelli (*Fanelli*); Chung Sung-Jun/Getty Images

terebbero, ma le frodi rappresentano solo una piccola parte del problema. L'aspetto principale è rappresentato da distorsioni più sottili. In tutte le ricerche c'è uno spettro di comportamenti e di scelte, da errori banali a distorsioni inconsapevoli, che però producono lo stesso risultato di una frode, ovvero un eccesso di risultati positivi che si rivelano essere falsi o esagerati.

Ci sono discipline più prone alla distorsione?

È presto per dirlo, ma sembra che le scienze fisiche siano le meno colpite. All'estremo opposto le scienze sociali, soprattutto la psicologia, sembrano avere troppi risultati «positivi», e pochi studi che verificano risultati altrui. Il che è un problema, perché la replicazione è il baluardo che garantisce l'obiettività della conoscenza scientifica. Un problema crescente anche in biologia.

Due casi. Manifestazione per lo scienziato sudcoreano Hwang Woo-Suk, autore di una frode su cellule staminali. Sotto, Andrew Wakefield, autore di un articolo fraudolento sul legame tra vaccini e autismo.

Lindsey Parnaby/epa/Corbis

Quali sono le cause dietro questi comportamenti?

Ci sono fattori molteplici. Uno dei più importanti è che le carriere sono legate a numero e impatto delle pubblicazioni. C'è una corsa alla rivista più importante, il risultato si deve vendere e quindi i dati vengono massaggiati, come si dice in gergo. Questo processo è spesso accentuato da politiche nazionali, come in Cina, i cui scienziati ricevono un bonus di 50.000 euro se pubblicano sulle migliori riviste internazionali. L'idea che questa politica sia sbagliata trova conferma nei miei dati, secondo cui gli articoli degli scienziati cinesi hanno il più alto eccesso di pubblicazioni positive, e quindi sospette. Il caso più interessante sono però gli Stati Uniti, la cui frequenza di positivi è a metà strada tra Cina e Regno Unito. Questo dato si sposa con il fatto che negli Stati Uniti la pressione a pubblicare è più elevata rispetto all'Europa. Ma anche in Europa si stanno diffondendo politiche volte alla produttività, che fanno prevedere lo stesso andamento.

Come si può riaggiustare il sistema scienza?

Non credo che il sistema scienza sia rotto. Può darsi che oggi la scienza affronti problemi nuovi, ma l'altra novità, questa sicura, è che ora ci sono persone che questi problemi li studiano. Fare ricerca su frodi e distorsioni non è un affronto alla scienza, come invece molti pensano. È parte integrante del processo scientifico di autocorrezione. Si fa scienza quando si ha un sistema che garantisce l'esame critico e collettivo di qualsiasi risultato. Il nostro lavoro intende solo monitorare e aiutare questo processo.

Gli spazi di intervento sono molti. Le replicazioni, secondo me al primo posto, sembrano invece essere sempre più scoraggiate. Oggi nessuno può fare carriera solo verificando gli studi altrui. Eppure basterebbe che gli enti di ricerca destinassero una parte dei loro fondi a questo scopo. E le carriere degli scienziati dovrebbero essere valutate in base alla qualità dello studio effettuato, ignorando se i risultati ottenuti sono positivi o negativi.

Questi comportamenti di distorsione, una volta diventati di dominio pubblico, possono in qualche modo compromettere l'immagine della scienza presso l'opinione pubblica?

Credo che sia ancora un problema, non solo nei riguardi dell'opinione pubblica. Ritengo che molti rettori, per esempio, preferiscano insabbiare o risolvere internamente casi che secondo loro possono compromettere l'immagine dell'ateneo che governano. Ma è un modo sbagliato di vedere il problema. Distorsioni e frodi sono, in qualche misura, inevitabili, nella scienza come in qualsiasi altra attività, e chi le combatte dovrebbe essere ben accolto.

Il 2011 è stato definito l'anno delle ritrattazioni scientifiche. Che ne pensa?

C'è un errore concettuale nel vedere le ritrattazioni come una misura delle frodi. Credo invece che l'atto di ritirare un articolo, che sia responsabile l'università o l'*editor*, è la più alta espressione della scienza, un'autocorrezione. Ora c'è più consapevolezza da parte degli editori. C'è possibilità per i ricercatori di esprimersi in anonimato e denunciare comportamenti dubbi a uffici appositi che si stanno diffondendo nelle università.

di Letizia Gabaglio

La bicicletta del futuro

Tecnologie Urbane di Firenze ha sviluppato un modello innovativo di bici compattabile in un volume pari a un quinto del volume della media standard

LA SCHEDA

Tecnologie Urbane

Fatturato
170.000 euro

Investimenti in ricerca
100.000 euro

Dipendenti/collaboratori
2 di cui 2 impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
5

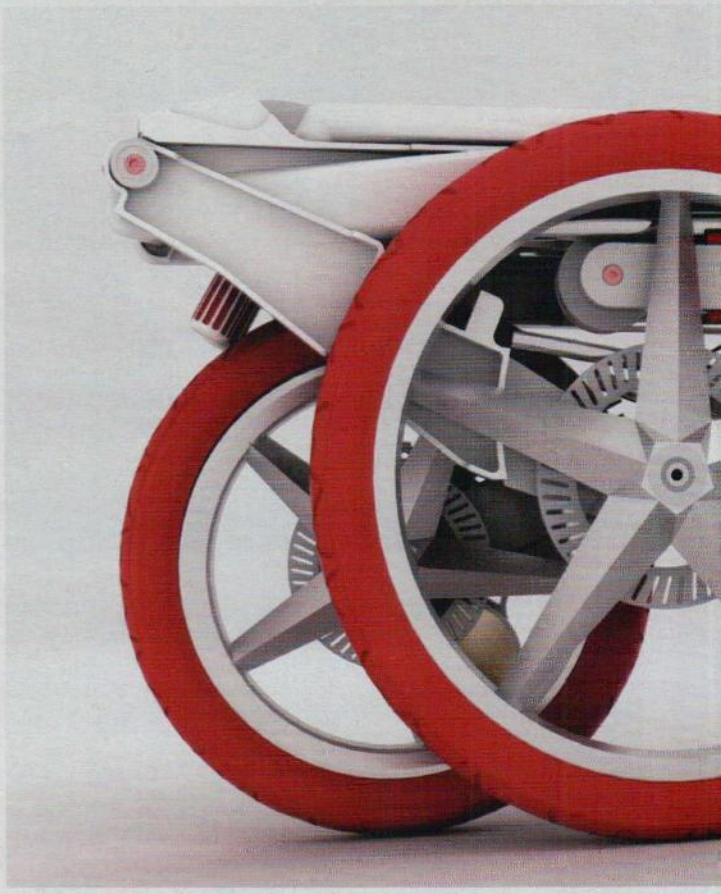
Innovazione e ricerca possono cambiare la vita. È quello che dice Alessandro Belli, fondatore di Tecnologie Urbane, studio di *design* nato quasi vent'anni fa e che oggi cambia pelle e si trasforma in una *start-up*. La causa è la passione di Belli per le tecnologie della sostenibilità, e l'intuizione che la vecchia bici «pieghevole», una particolare nicchia della mobilità ciclistica, tecnicamente arretrata e per niente alla moda, avesse invece un notevole potenziale come veicolo jolly urbano in combinazione con auto e mezzi pubblici. Un potenziale ancora oggi inespresso a causa di ingombri e pesi proibitivi.

Inizia così una ricerca per liberare, dice Belli, «il principe dalla ranocchia tecnologica in cui era prigioniero». Per realizzare una e-bike intermodale: una due ruote rivoluzionaria, corretta per tutte le corporature, ma compattabile in un volume tale da metterne una dozzina nel baule della Smart (30 litri contro l'attuale record di 90 e una media di 150), leggerissima grazie a una struttura reticolare, agile e con l'assistenza di un motore elettrico avanzatissimo. Dopo tre anni di ricerca e 1,6 milioni di euro finanziati dal VII Programma Quadro di ricerca dell'Unione Europea, il prototipo della bicicletta futuribile sarà presentato a metà aprile a Parigi, alla «TRA 2014», la biennale europea delle tecnologie per i trasporti. «Siamo alla fine di un percorso – dice Belli – e all'inizio di una nuova avventura: mettere sul mercato il frutto della ricerca».

Dall'ambiente all'industria ciclistica

Ma procediamo con ordine: a metà degli anni novanta Belli, dopo aver studiato architettura a Berkeley e lavorato a San Francisco e New York, ritorna in Europa, prima in Austria e poi a Milano. «Non è facile reinserirsi dopo dieci anni, ma provai ad aprire un mio studio». I primi lavori sono sulla sostenibilità per il WWF, e su altri temi di design e architettura, con anche un cliente in Giappone. «La cosa più interessante del design è che si affrontano ogni volta problemi diversi, si è esposti a un incrocio di saperi ed esperienze che è continua fonte di ispirazione per l'innovazione», racconta Belli.

L'idea della bicicletta intermodale nasce inoltre anche dall'interesse di Belli per l'industria dell'auto, cruciale per due importanti ragioni: «Vi convergono tutte le migliori tecnologie produttive, e l'evoluzione è costante – spiega Belli – e da molti anni vi si aggira il fantasma della "bicicletta tender" per l'auto». Un tema a cui si applicano vari *designer*, alcune piccole aziende e le stesse case automobilistiche: Richard Sapper, il designer della lampada Tizio; Volkswagen con la olandese Sachs e poi di recente con un ambizioso e costoso progetto interno. E ancora Mitsubishi con Panasonic, BMW come accessorio per le i-Bmw e altri. «Ma nessuno di questi progetti centra davvero l'obiettivo, nonostante la larghezza di mezzi impiegati», dice Belli. Il tema è spinoso: nel mondo dell'industria automobilistica i costi devono essere all'osso, la qualità elevatissima e le tirature immense. Equazione difficile per una casa automobilistica, e addirittura impossibile per l'industria ciclistica attuale, che infatti se ne tiene alla larga.



Il «piatto ricco», e la sfida di capire quale sia veramente la difficoltà, incoraggia il designer fiorentino, che vede nella ricerca europea l'occasione per provare a vincere la corsa. È il 2010, Belli crea un consorzio transnazionale che include gli svizzeri di Maxon Motors, fra i migliori nei motori elettrici speciali, tanto che la NASA li

Cortesia Tecnologie Urbane (*tutte le immagini in questa pagina e a fronte*)

ha scelti per i vari *rover* inviati su Marte; Trilix, società torinese di *car design*; Celanese, spin-off di una grande industria chimica tedesca, per i tecnopolimeri; il Dipartimento di disegno industriale dell'Università di Firenze, specializzato nell'ergonomia; e le due aziende di trasporti pubblici di Firenze e Lubiana.

«Inizia così un affascinante viaggio», va avanti il designer, che nel frattempo è tornato a vivere e lavorare a Firenze. I temi della leggerezza, compattezza e automazione di apertura sono stati risolti con un telaio incernierato, una specie di *origami* che si apre e si chiude, fatto di elementi sottili, molti dei quali sono cavetti, e che realizza una leggera ma rigidissima gabbia pretensionata, con la «robotica» dei carrelli di aereo e dei *top* delle moderne cabrio. L'ergonomia e la dinamica sono state studiate a fondo, anche con un apposito strumento marciante su strada progettato appositamente e configurabile in ogni possibile combinazione di parametri. «Studio mai realizzato prima, ne siamo molto fieri», dice il designer. «I nostri partner dell'Università di Firenze ci dicono che a fronte dei molti lavori sull'agonismo, quelli scientifici sull'ergonomia delle "biciclette per il resto di noi" si contano, nel mondo, sulle dita di due mani».

Una boutique per le due ruote

Il progetto si pone nell'ambito del cosiddetto «*greening* industriale». Si tratta infatti di un prodotto «integrato verticalmente», progettato per l'uso di tecnologie afferenti alla filiera dell'industria automobilistica. Queste, efficienti, economiche e affidabili, sono tracciabili con i criteri del «ciclo di vita chiuso dei materiali» dalla produzione al riciclo totale, con il rispetto di stringenti criteri ambientali. Cose impensabili per la farraginosa industria della bici, totalmente modulare e basata sull'assemblaggio di parti fatte chissà dove, chissà come.

«Ormai le fabbriche di auto sono avanzatissime, il mio mito è quella della Bugatti, trasparente, pulitissima come una *boutique* di lusso», con le tute degli assemblatori che sembrano, e forse sono, disegnate da Karl Lagerfeld, dice Belli.

Durante la ricerca, il progetto ha ricevuto la «segnalazione» al Compasso d'Oro e ben due premi nella competizione per start-up «Gaetano Marzotto» («il talento delle idee» e «dall'idea all'impresa»). Ecco, l'impresa. Per questo il designer fiorentino si è messo in gioco di nuovo, da designer-ricercatore a imprenditore, nello IUF, l'incubatore di imprese dell'Università di Firenze: «Studiamo i vari sistemi innovativi di finanziamento, ma trovo un po' pessimista la scena del *venture capital* italiano, molti mi consigliano di andare negli Stati Uniti, dove si investe davvero in innovazione. Ma scherziamo? Io negli Stati Uniti ci sono già stato, ora tocca all'Italia, il paese più bello del mondo. È ora di aprire una boutique-fabbrica di biciclette del futuro in via Tornabuoni, a Firenze».

Come è fatta?
In queste illustrazioni, forma e dimensioni della bicicletta futuribile progettata da Tecnologie Urbane, grazie anche ai finanziamenti ottenuti nell'ambito del VII Programma Quadro dell'Unione Europea.

di Telmo Pievani
è professore associato di filosofia delle scienze biologiche dell'Università degli Studi di Padova

Un'eredità di informazioni

I risultati cruciali di studi sul passaggio di informazioni ambientali tra generazioni

L'epigenetica vive un grande momento. Sappiamo che i cambiamenti chimici che influiscono sull'espressione dei geni senza alterarne la sequenza sono della massima importanza: avere un genoma sensibile all'ambiente garantisce plasticità. Il punto è se questa informazione ambientale, accumulata nel corso della vita di un individuo, possa o meno trasmettersi alla sua discendenza.

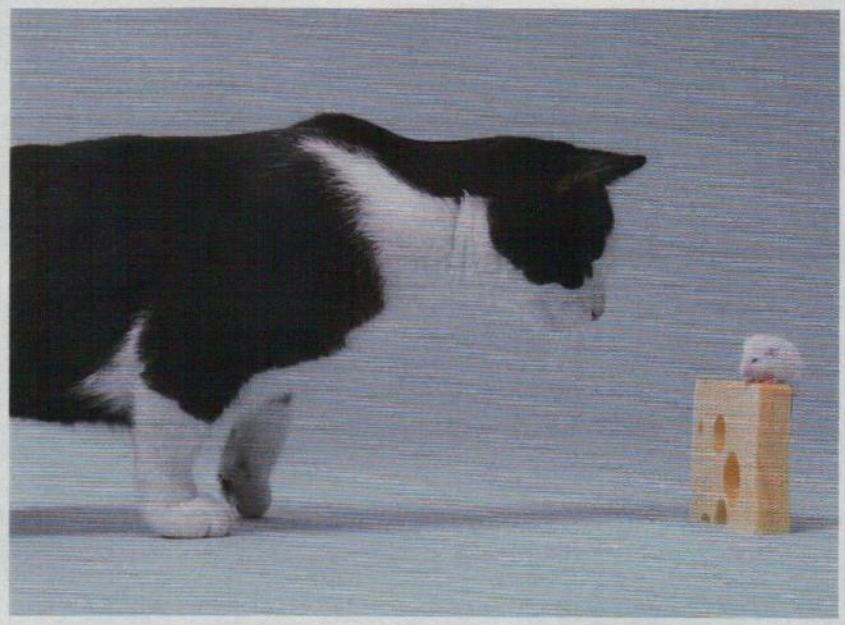
Ha impressionato la scoperta, annunciata su «Nature Neuroscience» da Brian Dias e Kerry Ressler, della Emory University di Atlanta, che nel topo la paura di una debole scossa associata a un odore lascia la sua impronta nel cervello di almeno la metà dei discendenti, benché questi non abbiano avuto in vita loro quell'esperienza. È sufficiente esporli all'odore associato e la reazione sembra permanere. Addirittura i nipoti sono più sensibili a quell'odore rispetto al gruppo di controllo. Come può realizzarsi un'ereditarietà epigenetica su tre generazioni?

Nelle piante era già stata osservata. Gli esperimenti precedenti con i roditori miravano a mostrare l'ereditarietà epigenetica paterna di variazioni nella dieta, ma erano contestati perché gli effetti nei discendenti potevano essere legati anche ad altri fattori. Ora invece Dias e Ressler hanno individuato le modificazioni ereditate nella struttura neurale e nel gene che codifica per il recettore olfattivo specifico. Pensando a un altro mammifero, *Homo sapiens*, sorgerà un dubbio: vuoi vedere che se abbiamo avuto una certa condotta di vita (per esempio fumando, o abusando di alcool e droghe), oppure abbiamo sofferto la fame, o sperimentato sulla nostra pelle paure profonde come i soldati in guerra, queste esperienze forti hanno in qualche modo «marcato» i nostri geni e possono passare ai nostri figli? Alcuni studi epidemiologici vanno in questo senso, ma molti scienziati rimangono perplessi al riguardo (almeno prima dell'esperimento di Dias e Ressler).

Anziché resuscitare anacronisticamente Lamarck, guardiamo al futuro. La situazione è quella, eccitante e promettente, in cui capiamo che un fenomeno potrebbe essere importante, ma ancora non ne comprendiamo il funzionamento. Come ha scritto Virginia Hughes su «Nature» del 5 marzo, «le radici dell'ereditarietà possono estendersi al di là del genoma, ma i meccanismi restano un rebus». Come fanno i segnali epigenetici a passare lungo la linea germinale? Una madre potrebbe trasmettere al feto, durante la gravidanza, gli effetti delle esposizioni ambientali che ha vissuto. Ma i topi di Dias e Ressler erano padri accoppiatisi con femmine che non avevano mai sperimentato né quella paura né quell'odore. Come si sono stampati nel loro sperma i marcatori epigenetici?

L'effetto permane anche con la fertilizzazione *in vitro*, quindi è escluso che il padre abbia trasmesso la paura per quell'odore attraverso le interazioni con la madre. I ricercatori ipotizzano che l'esperienza ripetuta di paura produca nello sperma, attraverso il flusso sanguigno nei testicoli, una minore metilazione del gene che esprime il recettore olfattivo (da qui una maggiore sensibilità per quell'odore anche nei discendenti). Altri pensano invece che l'espressione del gene nello sperma possa essere modulata da molecole di RNA messe in circolo dall'esperienza di paura associata all'odore. Altri ancora ipotizzano marcature chimiche sugli istoni, le proteine attorno a cui si avvolge il DNA. Fatto sta che l'«impronta» resiste alla riprogrammazione epigenetica durante lo sviluppo embrionale, non sappiamo come.

Si comincia a parlare di «alleli epigenetici» (stessa sequenza di DNA ma differenti marcature epigenetiche), i quali secondo Robert J. Schmitz, su «Science» del 7 marzo, a commento di un articolo di Sandra Cortijo e altri, sarebbero i responsabili dell'ereditarietà di molti tratti complessi, «offrendo quindi un substrato sul quale l'evoluzione darwiniana può agire». Un substrato di variazione ereditabile più ricca del previsto, non soltanto genetica.



Paura, eh? Studi sui topi hanno dimostrato che le informazioni ambientali, per esempio uno stimolo olfattivo associato a una paura, possono trasmettersi alla progenie.

Jakob Helbig/cultura/Corbis

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

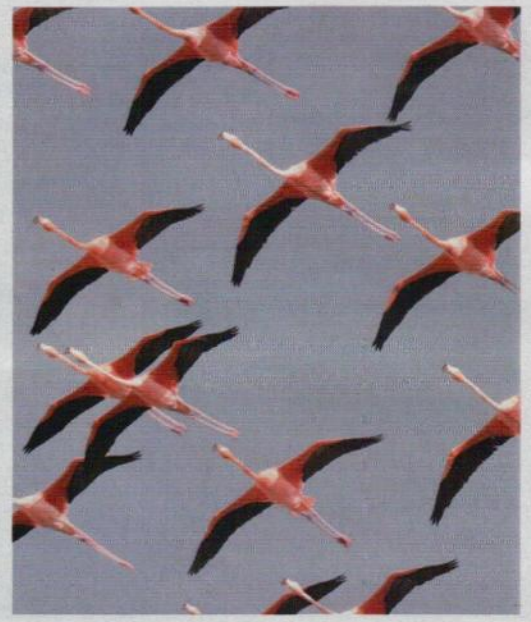
Volo in formazione

In uno stormo di uccelli migratori il movimento dei singoli condiziona il gruppo

La scienza moderna è pesantemente fondata sul riduzionismo, sui cui meriti però non tutti sono d'accordo. Effettivamente, spiegare le cose complesse osservando il comportamento di quelle più semplici che stanno sotto e le sostengono si è rivelato eccezionalmente utile. Mi è capitato però di sentire qualcuno che invocava il modo di volare in formazione degli uccelli migratori come un controesempio. Qua non sarebbe quello che sta sotto che spiega quello che sta sopra, ma al contrario sarebbe l'insieme degli uccelli che volano in formazione a porre condizioni al volo stesso.

Ma è vero? Si direbbe proprio di no, almeno stando a un articolo appena pubblicato a proposito di uno studio sul volo di alcuni ibis che procedono in formazione a V (Steven J. Portugal e collaboratori, in «Nature», Vol. 305, p. 399-402).

L'esperimento è consistito nel seguire in dettaglio il movimento di singoli uccelli che volavano in formazione, e il risultato è chiaro. L'uccello che vola dietro un altro cerca di tenersi alla distanza giusta e di battere le ali con una sfasatura definita rispetto al primo, in modo da trarre profitto dallo stare dietro ed evitarne gli svantaggi. Ogni tanto uno di questi uccelli cambia localizzazione, e si inserisce di nuovo in una posizione diversa. Ebbene, in questa operazione si riposiziona correttamente, e adatta il suo ritmo alla sua nuova condizione. Nessuno può sapere quanto c'è di istintivo e quanto di appreso in questa complessa operazione, ma tutto funziona come se fosse il movimento dei singoli componenti dello stormo a condizionare il procedere di quello e non viceversa. Un'altra spiegazione riduzionistica quindi, anche se si tratta di un riduzionismo di portata limitata.



Distanza reciproca e sfasatura del battito d'ali tendono a massimizzare gli sforzi individuali.

Due parole sulla meccanica del volo. Consideriamo prima il profilo dell'ala di un aereo. Date certe condizioni, per i fluidi in movimento, per esempio l'aria intorno all'ala, si può dimostrare che lungo tutto il tragitto del fluido vale il principio di Bernoulli, secondo il quale le regioni più veloci presentano meno pressione e viceversa c'è più pressione laddove la velocità è minore. Anche nella circolazione su una strada, quando si va più veloci c'è meno «pressione» da parte degli automobilisti che seguono, mentre quando si rallenta la pressione aumenta. Stiamo parlando di pressione psicologica, ma l'analogia regge bene, perché se invece dello stato d'animo degli automobilisti si considera la «ressa» delle parti di fluido che seguono, queste spingono molto quando il flusso ristagna, mentre la pressione si allenta laddove il flusso è più veloce.

L'ala è sagomata e disposta in modo che quando è incontrata dall'aria ad alta velocità – ovviamente in virtù dell'azione dell'elica o del reattore – sotto di lei l'aria va più lenta che sopra. Il che è quanto dire che la pressione da sotto, diretta verso l'alto, è maggiore della pressione da sopra, diretta verso il basso. Se la superficie dell'ala è abbastanza grande la differenza di pressione si trasforma in una differenza di forze, verso l'alto o verso il basso. Se la differenza di queste forze è diretta verso l'alto ed è maggiore del peso dell'apparecchio e del suo carico, l'ala e l'apparecchio volano. Naturalmente, se si cambia la direzione dell'ala, la spinta può cambiare direzione, così che si possa frenare e infine atterrare.

Gli uccelli non hanno né l'elica né il reattore, perciò devono procurarsi da sé, con il battito dell'ala, la differenza di velocità dell'aria sopra e sotto l'ala stessa. Il fenomeno fisico però è lo stesso: aria più veloce sopra e aria meno veloce sotto, così da avere una differenza di pressione che punta verso l'alto e che, trasformata in forza, li sostiene.

Spesso molti uccelli migratori volano in formazione, cercando di massimizzare il risultato degli sforzi individuali: questo risultato lo ottengono ottimizzando la distanza di uno dall'altro e lo sfasamento del loro battito d'ali, in modo da essere agevolati al massimo dal volo dell'uccello che precede senza esserne al contempo danneggiati. In effetti l'uccello che sta avanti lascia una scia d'aria in movimento, che per qualche metro spinge verso l'alto e dopo verso il basso. Ebbene, l'uccello che viene dopo deve prendere qualcosa della spinta ascensionale, ma non della spinta verso il basso. Deve volare quindi a una certa distanza da quello che lo precede e battere le ali in un'opportuna controfase rispetto a quello.

«E come i gru van cantando lor lai,
faccendo in aere di sé lunga riga,
così vid'io venir, traendo guai, ombre portate da la detta briga»,
dice Dante nel canto di Paolo e Francesca.

Frans Lemmens/Corbis

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

L'importanza dell'undici

Da Dante al calcio, fino al rock ecco i casi in cui questo numero è importante

"Nel mezzo del cammin di nostra vita, mi ritrovai per una selva oscura» (*Inferno*, I, 1-2). Tutti conosciamo questi due versi, e sappiamo che si tratta di due endecasillabi: cioè di versi composti da 11 sillabe, con l'accento principale sulla penultima. Ma si tratta di due versi diversi, o di due «di-versi»: nel primo, infatti, l'accento secondario cade sulla sesta sillaba, e nel secondo sulla quarta. Questi due tipi di endecasillabi si chiamano maggiore e minore, e hanno caratteristiche analoghe agli omonimi modi musicali: assertivo il primo, e sottomesso il secondo.

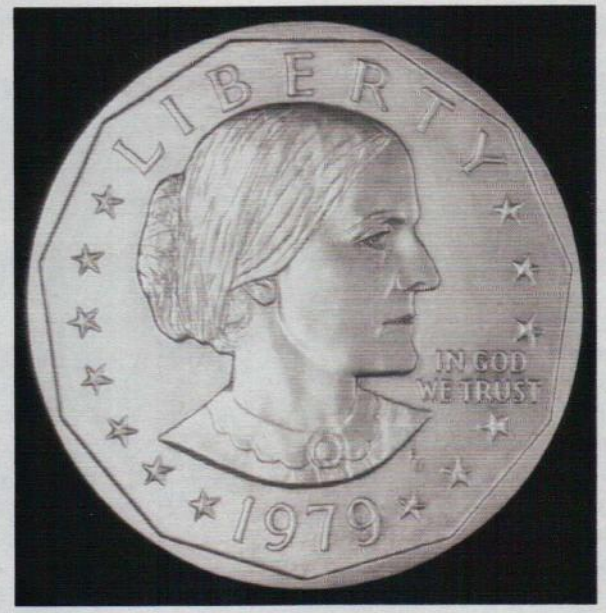
Gli endecasillabi sono dunque modi vocali di far sentire la musica del numero 11, in maggiore o in minore. Anche se la pignoleria vorrebbe che si precisasse che non sono tutti necessariamente di 11 sillabe. In realtà, infatti, la definizione tecnica di un endecasillabo è «un verso che ha l'accento principale sulla decima sillaba»: è solo a causa del fatto che la maggior parte delle parole italiane ha l'accento sulla penultima a far sì che le sillabe siano dunque in genere 11, da cui il nome di endecasillabo. Ma a volte possono essere solo dieci, come in «Lucifero con Giuda, ci sposò» (*Inferno*, XXXI, 143), e altre volte invece 12, come in «ora cen porta l'un de' duri margini» (*Inferno*, XV, 1).

Naturalmente esistono anche «endecasillabi» musicali, tipici dei tempi in cui ogni battuta contiene 11 note. L'esempio più noto è probabilmente la *Promenade* in 11/4 che punteggia i *Quadri da un'esposizione* di Modest Mussorgsky: un'opera che è essa stessa composta di 11 pezzi, ossia i dieci quadri e la *Promenade*, appunto. Un altro esempio, da un genere diverso di musica, è il brano *The Eleven* in 11/8 dei Grateful Dead, che già nel titolo dichiara il numeratore del proprio tempo. Il testo presenta invece un conto alla rovescia che parte da otto, per dichiarare anche il denominatore.

I riferimenti biblici dei versi della canzone dei Grateful Dead ci ricordano che negli *Atti degli apostoli* si indicano con «gli 11» quelli sopravvissuti alla morte di Giuda: cioè, «i 12» meno uno. Nel profano, sono 11 i giocatori delle squadre di molti sport: calcio, football americano, cricket e hockey su prato. E in inglese si usa «undicesima ora» per indicare quella che in italiano si chiama «zona Cesarini»: cioè, l'ultimo momento utile a compiere un'azione.

Il numero 11 ha un'importanza particolare in Canada, dato che ci sono 11 rappresentanti della corona britannica: dieci a livello provinciale e uno a livello federale. Il numero è ricordato nelle 11 punte della foglia d'acero della bandiera, nelle ore 11 indicate dagli orologi che appaiono sulle banconote, come quella da 50 dollari, e negli 11 lati della moneta da un dollaro, chiamata *loonie* perché raffigura sul verso uno strolaga maggiore (*loon*, appunto).

Per costruire la moneta si arrotondano i lati di un endecagono in archi di cerchio, puntando il compasso nel vertice opposto a ciascun lato: si ottiene così una figura ad ampiezza costante, benché non circolare, analoga al più noto triangolo di Reuleaux. Poiché però l'arrotondamento di un endecagono non si discosta molto da un cerchio, nel dollaro Susan Anthony statunitense, che prende il nome della suffragetta raffigurata sul davanti, l'endecagono in cui è inserito nel verso lo stemma della missione lunare dell'Apollo XI è semplicemente inscritto in un cerchio, appunto.



Una moneta, per esempio. Il dollaro statunitense Susan Anthony, con visibile l'endecagono sul davanti.

A proposito dell'endecagono, non è costruibile con riga e compasso: per il criterio di Gauss, un poligono regolare con un numero primo n di lati è costruibile solo se $n-1$ è una potenza di 2, e 10 non lo è. Inoltre l'endecagono non è neppure costruibile con compasso e riga graduata, a differenza dell'ettagono, dell'ennagono e del tridecagono, tutti non costruibili con la riga non graduata. E non è neppure costruibile con gli origami, che pure permettono di costruire i poligoni precedenti.

Un'interessante proprietà del numero 11 è la connessione fra le cifre delle sue potenze e le righe del triangolo di Pascal. La cosa è evidente per le prime potenze, che sono 1, 11, 121, 1331 e 14.641. Quelle successive, per esempio 161.051, si ottengono dalla riga corrispondente del triangolo, per esempio 1-5-10-10-5-1, sommando alcune delle cifre adiacenti (5-1 e 0-1).

Ci sarebbero molte altre cose da dire sull'11, come il fatto che altrettante sono le dimensioni dello spazio-tempo richieste dalla teoria M delle stringhe, ma poiché siamo ormai arrivati all'undicesima ora, dobbiamo fermarci qui.

Bettmann/Corbis

di Roberto Battiston
Professore ordinario di fisica sperimentale all'Università di Trento
e membro del Comitato esperti per la politica della ricerca del MIUR - www.robertobattiston.it

Onde gravitazionali, finalmente

Rilevati gli effetti diretti di queste onde sulla radiazione cosmica di fondo

C'era una volta una fluttuazione quantistica di materia ed energia che con una violenza inaudita si espanse producendo lo spaziotempo in cui materia ed energia iniziarono un ballo indiavolato scambiandosi ruoli a un ritmo frenetico. In una confusione assoluta, tutti si scambiavano i partner con tutti. Come a un ballo in maschera quark e antiquark, bosoni e fermioni, fotoni e gluoni, elettroni e neutrini erano indistinguibili e si scontravano senza tanti complimenti, annichilendosi e riapparendo senza sosta. In quella baraonda, persino quei ciccioni del bosoni di Higgs e del quark top sembravano magri. I neutrini destrorsi erano abbondanti quanto quelli sinistrorsi, con cui andavano a braccetto come se nulla fosse: anche la famiglia delle particelle supersimmetriche, famose per avere la puzza sotto al naso e non volersi mescolare con le particelle normali, si agitavano e scontravano senza freni.

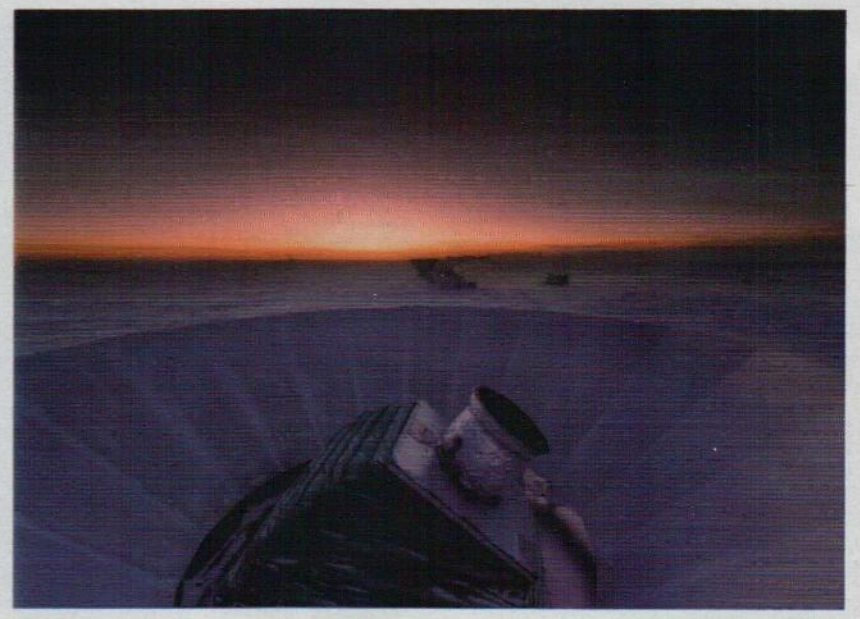
Tutto era permesso, nulla era vietato in quei primi istanti, non c'erano interazioni più forti di altre, una democrazia che nemmeno la rivoluzione francese se la sarebbe sognata. Durò davvero poco questa libertà sfrenata e questa eguaglianza senza confini. Passata la sbornia iniziale a un certo punto alcune particelle si accorsero che le antiparticelle erano fondamentalmente diverse, la materia ingaggiò una guerra senza quartiere contro l'antimateria, una guerra devastante, in cui le particelle si annichilivano con le antiparticelle producendo fotoni a un ritmo pazzesco.

Alla fine la materia prevalse per un nulla, o quasi, una parte per miliardo sopravvisse a questa mattanza, quanto bastava per produrre negli eoni a seguire stelle galassie e pianeti, tra cui il nostro, con tutto quello che ci si trova. A seguito di questa epica battaglia i fotoni diventarono tantissimi, e da quel momento dominarono l'universo, vagando per gli spazi sempre più grandi che nel frattempo si aprivano tra una particelle e l'altra.

Più o meno allo stesso tempo iniziale anche la potente forza che governava il ballo in maschera tra le particelle elementari si indebolì progressivamente, perdendo prima la forza gravitazionale, poi quella forte, poi quella debole e scindendosi alla fine in quattro diverse forze che ebbero l'ardire di farsi chiamare fondamentali, destinate a regnare su pezzi diversi del reame cosmico, immemori dei tempi in cui facevano parte di un'unica, totipotente forza, quella sì fondamentale.

Narra così la storia, ma narra anche di come la gravitazione, mentre si staccava dal tronco della possente forza, volle lasciare un'impronta indelebile sulla formazione del ballo mascherato, obbligando i fotoni che danzavano frenetici con le particelle cariche a oscillare secondo uno schema inconfondibile, creando forme ad anello nella loro polarizzazione, cosa che solo la gravitazione e le sue onde erano in grado di fare.

L'impronta di questi cerchi nella distribuzione della polarizzazione è talmente unica da essere sopravvissuta a quasi 300.000 anni di urti violentissimi tra le particelle del plasma, fino a quando protoni ed elettroni si sono raffreddati a sufficienza da formare gli atomi di idrogeno e i fotoni hanno iniziato a correre liberamente in un universo diventato praticamente trasparente.



In Antartide. BICEP2 al crepuscolo, evento che al Polo Sud si verifica due volte all'anno. L'osservazione di effetti di onde gravitazionali da parte del telescopio è un risultato epocale.

Circa 13 miliardi e 800 milioni di anni dopo gli eventi di questa storia, un gruppo di scienziati statunitensi, usando un sofisticato strumento chiamato BICEP2, collocato al Polo Sud, sono riusciti a estrarre l'impronta di questi cerchi nella polarizzazione del fondo cosmico di microonde. Un'impresa tanto difficile quanto importante, che permette di dare sostanza a un racconto, quello del big bang e dei primi istanti successivi all'esplosione iniziale, che fino a oggi sembrava impossibile da verificare, mentre con l'osservazione di BICEP2 a tutti gli effetti è entrato nel novero delle osservazioni scientifiche.

Cortesia Steffen Richter/Harvard University

di Giorgio Manzi

Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Il mistero dell'Acheuleano

Nel Paleolitico troviamo gli stessi manufatti per più di un milione di anni

Ultimamente abbiamo parlato parecchio di «DNA antico» e della sua importanza per capire passaggi cruciali del nostro passato. Ci sono però epoche della preistoria e della nostra evoluzione in cui le attuali conoscenze paleogenetiche non arrivano, e in cui è opportuno fare fino in fondo ricorso a fonti (per così dire) tradizionali, come per esempio quelle archeologiche. Parliamo allora di manufatti, cioè di Paleolitico; più precisamente, di una *facies* del Paleolitico inferiore (quello più arcaico) detta comunemente Acheuleano. Ce ne dà lo spunto il libro uscito da pochi mesi in Francia per le Edizioni del CTHS a firma di Elisa Nicoud, dal titolo *Le Paradoxe Acheuléen*.

Nel libro si tratta del cosiddetto «Modo 2» del Paleolitico inferiore, che prende il nome di Acheuleano dal sito francese di Saint Acheul, dove nacque la preistoria come scienza nella prima metà del XIX secolo. Con l'Acheuleano iniziano a comparire quei manufatti bifacciali detti anche amigdale, per la loro forma a mandorla, oppure asce-a-mano. Per più di un milione di anni, e non esagero, le popolazioni umane in Africa e in Eurasia riprodurranno quasi ostinatamente lo stesso tipo di manufatti. Diversi magazzini grandi come hangar potrebbero essere stipati con questi reperti, vuoi che provengano da strati geologici o vuoi che letteralmente tappezzino aree più o meno estese di regioni oggi desertiche spazzate dal vento.

Che cosa sia davvero un bifacciale e a che cosa esattamente potesse servire credo che non sappia dirlo con sicurezza nemmeno il più imprudente degli archeologi preistorici. Veniva ottenuto scheggiando ripetutamente il nucleo di materia prima su due facce, in modo da ottenere un solido piuttosto appiattito, con tutto intorno un margine seghettato e tagliente, un lato corto di solito a punta e un bordo più arrotondato dalla parte opposta. Insomma, grande o piccolo, il bifacciale somiglia proprio alla forma di una mandorla. Ciò che sorprende è la ripetitività del gesto e del risultato che esso produce. E il gesto in effetti si ripete, per migliaia, milioni, miliardi di volte: su selce, quarzite, ossidiana, ma anche su calcare o addirittura su osso.

Un altro aspetto che mi colpisce di questi manufatti dell'Acheuleano è che compaiono in Africa intorno a un milione e mezzo di anni fa, prodotti probabilmente da *Homo ergaster* (o *Homo erectus* africano) e che li troviamo in Europa solo un milione di anni dopo – a partire da circa 600.000 anni fa – probabilmente prodotti da *Homo heidelbergensis*, artefice di analoghe produzioni paleolitiche in Africa e in parte dell'Asia.

Prima di quel momento i bifacciali a forma di mandorla in Europa non c'erano. E non abbiamo ancora capito bene se qualcuno «importò» l'Acheuleano in Europa – e perché con tutto questo ritardo – o se piuttosto esso non sia stato il prodotto di un'evoluzione indipendente: un progresso tecnologico autonomo delle popolazioni europee, anche se curiosamente simile a quello che si osserva in Africa e Asia.

Proprio su quest'ultimo punto si concentra Elisa Nicoud nel suo libro, cercando di mettere ordine nel mondo dell'Acheuleano. Si sofferma d'altra parte sulla sua diversità interna, considerando in particolare alcuni *cul-de-sac* di quel cul-de-sac più grande che è l'Europa, prendendo in esame diversi siti acheuleani in Inghilterra, Francia, Spagna e Italia.

E infine la sua analisi critica, basata su un approccio eminentemente tecnologico, la porta a concludere che di industrie con bifacciali ce n'è stata più d'una e che, forse, l'uso stesso del termine Acheuleano ha in parte oscurato la nostra percezione del fenomeno: ecco il paradosso.

Si delinea dunque, e non c'è da stupirsi, una storia più complessa di quanto avessimo ritenuto fino a oggi.

Il fascino delle amigdale. Manufatti bifacciali, le amigdale, provenienti da vari siti preistorici in Africa ed Eurasia hanno per oltre un milione di anni lo stesso aspetto.

Prisma/UIG/Getty Images

AMBIENTE

Biodiversità italiana sotto stress

In Italia una specie su due è in uno stato di conservazione cattivo o inadeguato

DeAgostini/Getty Images

Sulla soglia. Un esemplare di orso bruno marsicano nel Parco nazionale d'Abruzzo. Secondo un rapporto dell'ISPRA sulla biodiversità in Italia, il numero di esemplari rimasti di questa specie è al limite della soglia che ne garantisce la sopravvivenza nel lungo e medio periodo.

L'Italia non ha solo il più grande patrimonio storico-artistico del mondo, ma anche, grazie all'estrema varietà dei nostri habitat, il primato europeo di biodiversità, con oltre 50.000 specie animali e 6200 vegetali endemiche rispettivamente nel 30 e 50 per cento dei casi. Purtroppo i patrimoni naturale e artistico italiani sono simili anche per un altro aspetto: non godono di buona salute. Lo rivela il *III Rapporto Direttiva Habitat 2007-2012* dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA), sottolineando che in Italia il 20 per cento delle specie vegetali, il 51 di quelle animali e il 61 per cento degli habitat sono in cattivo stato o in uno stato inadeguato. Un'icona di questa situazione è l'orso bruno marsicano, ne sono rimasti solo 40-50 esemplari, una soglia limite per assicurarne la persistenza nel medio-lungo periodo.

«Siamo arrivati a queste conclusioni – spiega il biologo Pietro Genovesi dell'ISPRA – valutando 3000 mappe di distribuzione di specie e habitat inviateci dalle regioni, da cui abbiamo ricavato per la Commissione Europea, come previsto ogni sei anni dal Programma Habitat, schede su 132 ecosistemi e sulle 225 specie animali e le 113 vegetali presenti nel nostro paese e considerate di interesse europeo. Si tratta di un campione che è un ottimo indicatore dello stato di salute complessivo dei nostri ecosistemi».

Il rapporto individua nelle specie animali d'acqua dolce quelle che se la passano peggio, assediate da inquinamento, cementificazione, sbarramenti, uso idrico eccessivo e invasione di specie alloctone, come il pesce siluro o il gambero della Louisiana. «Ma addirittura i ripopolamenti con trote nei torrenti portano gravi danni agli ecosistemi originari», sottolinea Genovesi. Come risultato, quasi tutte le specie d'acqua dolce nostrane sono a rischio.

In grave sofferenza anche varie specie di pipistrelli, a causa dell'uso di pesticidi. «In effetti l'agricoltura intensiva sembra essere, con l'introduzione di specie aliene, la minaccia principale per gli habitat, anche perché nel nostro paese l'agricoltura è intrecciata con gli ambienti naturali», dice Genovesi. Riguardo alle specie vegetali, preoccupano specie costiere e palustri come l'astragalo marittimo o il quadrifoglio acquatico, che soffrono per il degrado degli ambienti in cui vivono, dato che anche le dune costiere e le torbiere sono minacciate da edilizia, inquinamento e turismo.

Positivo invece lo stato dei boschi appenninici, in espansione da anni. «Sono boschi giovani – conclude Genovesi – quindi non adatti a ospitare specie che richiedono un ambiente più maturo e strutturato. Un segnale positivo è che rispetto a sei anni fa la maggioranza delle specie animali e la metà delle specie vegetali e degli habitat sembra in una condizione stabile o in miglioramento».

Alex Saragosa

COSMOLOGIA

Una nuova massa per il neutrino?

Discrepanze sul numero di ammassi di galassie osservati suggerirebbero una massa più grande

Il neutrino, particella elementare considerata di massa così piccola da essere trascurabile, potrebbe avere una massa molto maggiore di quanto ipotizzato. A rivelarlo è uno studio effettuato non con i metodi della fisica delle particelle, ma con quelli della cosmologia da parte di due ricercatori britannici: Richard Battye, dell'Università di Manchester, e Adam Moss, dell'Università di Nottingham. Secondo quanto riportato in un articolo pubblicato su «Physical Review Letters», un neutrino con una massa di 0,32 elettronvolt potrebbe infatti risolvere alcuni problemi che emergono combinando dati relativi alla distribuzione a grande scala delle galassie ottenuti con metodi indipendenti.

Dal modello standard delle particelle elementari, i fisici sanno che il neutrino è un leptone, cioè un membro della classe di particelle elementari sensibili all'interazione debole, ma non a quella forte, con spin semintero e che si presenta in tre varietà distinte, chiamate anche sapori: il neutrino elettronico, quello muonico e quello tauonico. L'osservazione più volte confermata che i neutrini possano cambiare sapore, fenomeno noto come oscillazione e previsto teoricamente dal fisico italiano Bruno Pontecorvo alla fine degli anni cinquanta, permette di dedurre che anche queste particelle sono dotate di massa. Attualmente è noto che il limite inferiore della somma delle masse dei tre sapori è pari a 0,06 elettronvolt, quasi dieci milioni di volte più piccola della massa dell'elettrone.

Per dedurre il nuovo valore di massa del neutrino (anche in questo caso si tratta della somma delle masse dei tre sapori), Battye e Moss sono partiti dallo studio di due discrepanze nate dall'analisi delle anisotropie osservate nella radiazione cosmica di fondo dalla missione Planck. Secondo quei dati, infatti, dovremmo aspettarci un numero di ammassi di galassie molto maggiore rispetto a quello osservato. Inoltre si osserva un segnale dell'effetto di lente gravitazionale prodotto dalle galassie più debole di quello deducibile dallo studio del fondo cosmico di radiazione. Secondo i due ricercatori, la soluzione a queste incongruenze sarebbe fornita proprio dall'inclusione nei modelli cosmologici di neutrini di massa considerevole. Ma si attendono ulteriori conferme.

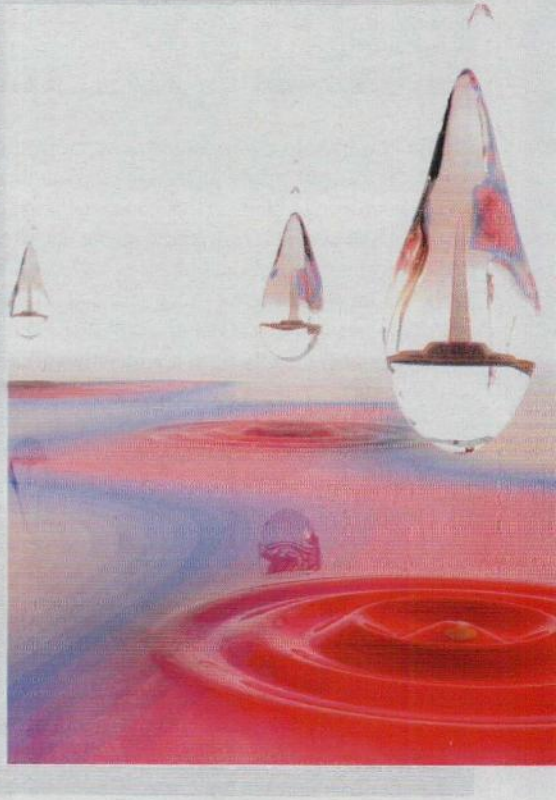
Emiliano Ricci

Gocce quantistiche di materia condensata

Una nebbia composta da gocce quantistiche: è quello che hanno osservato per la prima volta alcuni fisici sparando impulsi laser ultraveloci contro un campione di arseniuro di gallio. Autore di questa scoperta, annunciata su «Nature» a fine febbraio, è stato il gruppo guidato da Andrew Almand-Hunter e Steven Cundiff, ricercatori del JILA, un istituto congiunto dell'Università del Colorado a Boulder e del National Institute of Standards and Technology (NIST). Queste goccioline quantistiche, chiamate *quantum droplet* o *dropleton*, italianizzato in droplettoni, sono in realtà quasiparticelle con caratteristiche simili a quelle di un liquido, ma soggette alle leggi della meccanica quantistica. I fisici definiscono infatti quasiparticella uno stato di eccitazione di un solido con caratteristiche analoghe a quelle di una particella vera e propria, dotata quindi di massa, carica elettrica, energia, spin e così via. La materia condensata viene così studiata come se al suo interno si spostassero liberamente particelle fittizie debolmente interagenti, per esempio, con i fononi si descrivono le vibrazioni di un reticolo cristallino.

Gli scienziati avevano eccitato il campione di materiale semiconduttore con un laser capace di emettere 100 milioni di impulsi al secondo per studiare la formazione di bieccitoni, quasiparticelle composte da due eccitoni, a loro volta simili all'idrogeno, ma composte da un elettrone e da una lacuna, ovvero dal vuoto lasciato da un elettrone eccitato in un materiale semiconduttore (la lacuna ha quindi carica elettrica positiva). Aumentando il numero di elettroni e lacune prodotti, i ricercatori si aspettavano la formazione di più eccitoni e quindi bieccitoni. Ma arrivati a una certa soglia si sono accorti che i bieccitoni lasciavano il posto alla formazione di queste nuove quasiparticelle, composte da pochi elettroni (da 4 a 6) associati ad altrettante lacune. Una scoperta che apre nuove strade non solo nello studio della materia condensata, ma anche in ambito applicativo, per esempio nei sistemi optoelettronici.

Emiliano Ricci



FISICA

Un monopolo per Dirac

Prodotto in laboratorio l'equivalente del monopolo magnetico previsto dal fisico britannico

STScI/NASA/Corbis (*ammasso galassie, a fronte*), cortesia Brad Baxley (*gocce quantistiche, a fronte*), cortesia Heikki Valja (*monopolo*)

In oltre ottant'anni sono stati molti i tentativi sperimentali mirati a rilevare monopoli magnetici naturali ma, nonostante alcuni risultati fossero stati inizialmente interpretati in maniera positiva, ancora oggi non si ha alcuna prova sperimentale dell'esistenza di cariche magnetiche isolate. Un articolo pubblicato su «Nature» sembra tuttavia porre fine a questa lunga attesa. Un gruppo di fisici guidato da David Hall, dell'Amherst College, negli Stati Uniti, e da Mikko Möttönen, della Aalto University, in Finlandia, ha infatti annunciato di aver prodotto e osservato in laboratorio monopoli magnetici sintetici, o meglio uno stato della materia a questi equivalente, ovvero che si comporta come un monopolo.

La teoria classica dell'elettromagnetismo, sintetizzata dalle equazioni formulate dal fisico britannico James Clerk Maxwell nel 1865, prevede l'esistenza di cariche elettriche isolate, ma non di quelle magnetiche, che invece devono andare sempre a coppie: a un polo magnetico nord si accompagna sempre un polo magnetico sud e viceversa. Incuriosito da questa asimmetria della natura, nel 1931 il fisico britannico Paul Dirac pubblicò sui «Proceedings of the Royal Society A» un articolo in cui, combinando l'elettrodinamica classica con le leggi della meccanica quantistica, dimostrò teoricamente che l'esistenza dei monopoli magnetici avrebbe potuto spiegare la quantizzazione della carica elettrica osservata in natura. Questa si presenta infatti sempre come multiplo intero di una carica elettrica elementare, quella dell'elettrone (che, segno a parte, è identica a quella del protone, nonostante le due particelle siano profondamente diverse).

Per ottenere i monopoli magnetici sintetici, il gruppo di Hall e Möttönen ha sottoposto un condensato di Bose-Einstein (BEC, è un insieme di bosoni, particelle a spin nullo o intero), composto da atomi di rubidio portati a una temperatura prossima allo zero assoluto, a diversi campi magnetici esterni, producendo in determinate circostanze «vortici quantistici» di spin, il segnale della formazione dell'equivalente di un monopolo magnetico (*nell'illustrazione*), proprio come previsto da Dirac.

Emiliano Ricci

Vetro super resistente

Se in futuro, facendo cadere una bottiglia di vetro, invece che con un mucchio di schegge ci ritroveremo solo con una lieve ammaccatura, potremo ringraziare la ricerca di François Barthelat, della canadese McGill University, che ha reso il vetro super resistente agli urti.

Come riportato su «Nature Communication», Barthelat e colleghi sono partiti dal fatto che la madrepora delle conchiglie è molto più resistente del gesso (carbonato di calcio) che, essenzialmente, la forma. Il suo segreto è una struttura composta da microscopiche scaglie di gesso, poggiate una sull'altra, in modo che gli spazi fra loro blocchino l'avanzare di fratture causate da urti.

Non potendo sintetizzare vetro fatto come la madrepora, i ricercatori ne hanno imitato la rete di microfratture, trattando un vetrino da microscopio con la stessa tecnica laser impiegata per incidere scritte e disegni. Come risultato, nel vetrino si è formato un intreccio di fessure microscopiche, che ricorda quello degli incastri dei pezzi di un puzzle e impedisce alle crepe causate dagli urti di propagarsi a tutta la struttura. Il vetrino «madreporizzato» al laser si è rivelato 200 volte più resistente di quanto fosse prima del trattamento. Secondo Barthelat, la stessa tecnica potrà essere facilmente applicata a lastre e oggetti di vetro di ogni misura.

Alex Saragosa

EVOLUZIONE

La geometria evolutiva della vita

Completata la descrizione teorica che lega metabolismo, massa e forma di piante e animali

Struttura corporea e geometria di tutte le forme di vita vegetali e animali sono soggette a un'unica legge universale, che lega massa e velocità del metabolismo. Per tutti i pluricellulari vale infatti la cosiddetta legge di Kleiber, elaborata negli anni trenta, per cui il metabolismo individuale equivale alla massa corporea elevata alla tre quarti. In pratica, all'aumentare della massa si osserva un incremento prevedibile del metabolismo, ma anche della durata della vita. Sebbene questa semplice formula matematica abbia trovato prove empiriche e diverse applicazioni pratiche in medicina, mancava un'elegante descrizione teorica che ne spiegasse il funzionamento.

La soluzione arriva da uno studio sui «Proceedings of the National Academy of Sciences». Il pezzo mancante del modello era la velocità a cui i nutrienti sono trasportati nell'organismo. Nelle piante, superficie e volume quasi coincidono, e per di più il flusso dei nutrienti avviene in maniera costante a prescindere dalla dimensione individuale. Più complesso è il caso degli animali, e in particolare dei mammiferi, il cui metabolismo è determinato dal diverso ritmo di pompaggio del cuore nelle differenti specie. La velocità del flusso sanguigno dipende a sua volta dalla massa corporea elevata a un dodicesimo.

Tenendo conto di questo fattore, la legge di Kleiber trova la sua soluzione teorica: piante e animali si sono evoluti in maniera indipendente e parallela, ma sottostando alla medesima esigenza di conciliare produzione di energia e dispersione del calore in eccesso. L'immensa varietà di forme e dimensioni degli organismi pluricellulari e le loro illimitate strategie per estrarre, trasformare e sfruttare l'energia dall'ambiente in cui vivono sono quindi soluzioni differenti, in base alle condizioni a cui sono esposti e al loro passato evolutivo, allo stesso problema di massimizzazione dell'efficienza energetica e possono essere spiegate usando solo principi fisici e chimici.

Andrea Romano

Orme umane di un milione di anni fa in Europa

Non sappiamo ancora con precisione quando l'umanità abbia compiuto i primi passi fuori dalla sua culla africana. Ma gli indizi continuano a emergere, come nel caso delle più antiche impronte fossili al di fuori dell'Africa scoperte di recente nel Norfolk, contea sulla costa orientale dell'Inghilterra, in una regione in cui si trovano le più antiche testimonianze della presenza umana nel Nord Europa. La scoperta è stata pubblicata su «PLoS ONE» da Nick Ashton, del British Museum, e colleghi.

Le orme risalgono a un periodo compreso tra 780.000 e un milione di anni fa, e sono state impresse da cinque individui sul terreno fangoso di un antico estuario fluviale, che si trova nei pressi dell'attuale cittadina balneare di Happisburgh. A portare alla luce le tracce del passaggio di una specie umana sono stati i fenomeni erosivi causati dalle maree, che hanno rimosso la spiaggia sabbiosa sovrastante, rivelando le antiche distese di fango sepolte. Gli archeologi britannici hanno avuto a disposizione poco tempo per documentare la scoperta, grazie all'apporto di una tecnica chiamata fotogrammetria multi-immagine e scansione laser, che ha permesso di registrare immagini tridimensionali ad alta definizione delle orme, poi cancellate dalle maree stesse a meno di un mese dalla loro emersione alla luce. Le impronte erano relativamente ben conservate, e mostravano le tracce lasciate dal tallone, dall'arco plantare e dalle dita. Le loro lunghezze apparenti hanno consentito di stimare l'altezza dei diversi individui, compresa tra 0,93 e 1,73 metri. Si trattava quindi di un gruppo composto da bambini e adulti, la cui massa corporea corrispondeva a circa 50 chilogrammi.

L'identità tassonomica degli autori delle impronte non è stata accertata con precisione, anche a causa dell'assenza di scheletri fossili nell'area. In un'ampia gamma di specie ipotizzabili, la più candidata probabile è *Homo antecessor*, conosciuta grazie alle numerose testimonianze scoperte nei siti di Atapuerca, in Spagna. I fossili di *Homo antecessor* sono attribuiti a un'epoca corrispondente a quella esaminata da Ashton e colleghi, e gli adulti mostrano una massa corporea in linea con quella stimata per i misteriosi «uomini di Happisburgh».

Fabio Perelli

Theo Allofs/Corbis (*rana*); cortesia N. Ashton e altri, *Hominin Footprints from Early Pleistocene Deposits at Happisburgh, UK*, in «PLoS ONE», 7 febbraio 2014 (*impronte umane*)

CLIMATOLOGIA

Un nuovo meccanismo per l'aerosol

Rilevata la formazione di polveri in atmosfera dalle emissioni delle foreste boreali

L'aria che forma l'atmosfera è sostanzialmente un miscuglio di gas e acqua nei suoi tre stati di aggregazione. In realtà, però, l'aria non è così «pura» come si potrebbe credere, e al suo interno possiamo trovare anche una gran quantità di polveri di diversa origine, naturale o antropica, chiamate «aerosol», che hanno un loro ruolo importante, sia per la qualità dell'aria sia per la loro funzione perturbante dell'equilibrio tra radiazione entrante e uscente dalla Terra.

Questo ultimo effetto è ovviamente rilevante per determinare un maggiore o minore riscaldamento del nostro pianeta. L'entità e il segno di questa perturbazione sono funzione della composizione delle polveri, tuttavia di frequente questi aerosol rimandano indietro la radiazione entrante e contribuiscono alla formazione di nubi altamente riflettenti. Tutto questo favorisce un raffreddamento dell'aria.

Attualmente una delle maggiori incertezze dei modelli climatici è proprio insita nella descrizione fisica e chimica degli aerosol, per cui ogni progresso nella comprensione delle loro dinamiche può portare a una diminuzione delle barre di errore dei modelli. In questo senso, recentemente Mikael Ehn, dell'Università di Helsinki, e colleghi hanno pubblicato un articolo su «Nature» in cui identificano un meccanismo di formazione di aerosol dalle emissioni di foreste boreali, che, nelle condizioni controllate ma realistiche usate nelle loro camere sperimentali, è dominante rispetto ad altri più conosciuti.

La cosa interessante è che questi aerosol sono prodotti dall'ossidazione di composti naturali a bassa volatilità, cioè composti che appena emessi si «appiccicano» subito e in maniera irreversibile su impurità dell'aria, oppure che hanno essi stessi una funzione di nuclei di condensazione. Dato che, anche a causa dell'inquinamento atmosferico, l'atmosfera sta diventando sempre più ossidante, il meccanismo potrebbe diventare ancora più importante in futuro.

Tutto questo porta a identificare una quantità di aerosol maggiore di quella solitamente considerata nei modelli e dotata di caratteristiche ben precise di interazione con la radiazione. L'inserimento di queste conoscenze nei modelli climatici potrà portare a determinare in modo più accurato la composizione degli aerosol e le loro interazioni con il sistema climatico. Ancora una volta, siamo di fronte alla scoperta di un piccolo pezzo del grande puzzle del clima sulla Terra.

Antonello Pasini

codice EDIZIONI

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it

facebook.com/codiceedizioni
twitter.com/codiceedizioni
pinterest.com/codiceedizioni

IN LIBRERIA

DAVVERO IN FUTURO LA DEMOCRAZIA SARÀ DIGITALE O NON SARÀ? LE OPPORTUNITÀ NON MANCANO, MA NON È DANDOLE PER SCONTATE CHE SI REALIZZERANNO.

FABIO CHIUSI

FABIO CHIUSI
CRITICA DELLA DEMOCRAZIA DIGITALE
LA POLITICA 2.0 ALLA PROVA DEI FATTI

PP. 192, EURO 11,90

IL LIBRO DI MARSH CI RIPORTA ALLE RADICI, E ALLO STESSO TEMPO VOLGE LO SGUARDO ALLE SFIDE CHE CI ASPETTANO. DA LEGGERE ASSOLUTAMENTE!

"FINANCIAL TIMES"

PETER MARSH
FABBRICARE IL FUTURO
LA NUOVA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

PP. 368, EURO 27,00

IL CASO STAMINA RACCONTATO DA ALCUNI DEI SUOI PRINCIPALI PROTAGONISTI.

CONTRIBUTI DI PAOLO BIANCO, MAURO CAPOCCI, ELENA CATTANEO, GILBERTO CORBELLINI, ROSSELLA COSTA, PINO DONGHI, MICHELE DE LUCA, VALENTINA MANTUA E GRAZIELLA PELLEGRINI

LE CELLULE DELLA SPERANZA
IL CASO STAMINA TRA INGANNO E SCIENZA

A CURA DI MAURO CAPOCCI E GILBERTO CORBELLINI

PP. 284, EURO 13,00

EVOLUZIONE

Alle origini del dimorfismo sessuale

I fossili di un pinnipede simile ai leoni marini mostrano differenze di taglia tra i due sessi

La scoperta di fossili di un pinnipede mostra l'origine di alcune caratteristiche morfologiche e socio-sessuali tipiche di molte specie odierne. La specie in questione, chiamata *Enaliarctos emlongi* e molto simile ai leoni marini attuali, visse in Nord America oltre 20 milioni di anni fa ed è uno dei più antichi pinnipedi conosciuti.

Dalle analisi anatomiche di due crani, uno maschile e uno femminile, emerge che *Enaliarctos emlongi* rappresenta la più antica testimonianza di dimorfismo sessuale di taglia nei pinnipedi: il primo cranio ha infatti dimensioni decisamente superiori del secondo. Come in molti mammiferi, anche in questi carnivori la differente taglia corporea tra maschi e femmine della specie è spesso accompagnata dalla poliginia, il sistema sessuale per cui un maschio si accoppia con tante femmine.

Il confronto dell'anatomia di *E. emlongi* con quella di altre specie estinte ed esistenti ha permesso inoltre di stimare che dimorfismo sessuale e poliginia, caratteristiche che trovano la loro massima espressione negli elefanti marini (*Mirounga spp.*), emersero nei pinnipedi circa 27 milioni di anni fa, in corrispondenza di un periodo di imponenti cambiamenti climatici.

Andrea Romano

Pluricellulari senza ossigeno?

La vita animale non ha necessariamente bisogno di elevate quantità di ossigeno per sopravvivere e riprodursi. A sostenerlo è uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da Daniel B. Mills, dell'University of Southern Denmark a Odense, che mette in discussione l'ipotesi comunemente accettata secondo cui l'origine della pluricellularità fu determinata dalla concentrazione di ossigeno nell'ambiente. Nonostante le prove geochimiche e paleontologiche mostrino che le prime testimonianze di metazoi sono databili intorno a 600 milioni di anni fa, proprio durante un notevole aumento dell'ossigenazione di atmosfera e oceani, non è ancora chiaro quali fossero le effettive esigenze di ossigeno dei primi animali. Per comprendere questo aspetto, lo studio ha testato quali concentrazioni di questo elemento sono necessarie per la sopravvivenza della specie *Halichondria panicea*, una spugna che vive nelle acque a largo della Danimarca. Le analisi indicano che questi organismi crescono anche in un'atmosfera con livelli di ossigeno pari a solo lo 0,5 per cento di quelli attuali, finora ritenuti incompatibili con la proliferazione della vita complessa. Le prime forme di vita animale, probabilmente molto simili alle attuali spugne per morfologia e fisiologia, potrebbero quindi non aver avuto bisogno di elevate quantità di ossigeno per emergere, proliferare e diversificarsi. La corrispondenza temporale tra l'incremento di ossigeno e comparsa dei primi metazoi sarebbe solo una coincidenza.
È possibile allora che il passaggio dalle forme di vita unicellulari a quelle pluricellulari sia avvenuto prima di quanto si pensasse, anche se sembra una possibilità assai remota: fino a oggi infatti non sono state trovate testimonianze fossili di animali precedenti al periodo compreso tra 635 e 542 milioni di anni fa. I risultati indicano comunque che la comparsa relativamente tardiva e improvvisa degli animali potrebbe essere stata condizionata da altri vincoli ambientali, ecologici ed evolutivi, che avrebbero ritardato le tempistiche di questo evento cruciale per la storia della vita sulla Terra.

Andrea Romano

L'azoto e le forme viventi complesse

Si ritiene che la comparsa delle prime forme di vita complesse, alla fine del Precambriano, che si concluse 541 milioni di anni fa, sia direttamente collegata all'aumento della quantità di ossigeno a disposizione. Tuttavia, è ancora un mistero il motivo per cui questo aumento si sia verificato proprio in quel periodo. Per cercare di risolverlo, un gruppo dell'Università di Bristol ha sviluppato una teoria basata sullo studio genetico degli organismi fotosintetici, i cosiddetti cianobatteri. Presenti sulla Terra da più di 2,3 miliardi di anni, fu però solo 800 milioni di anni fa che la popolazione dei cianobatteri esplose e colonizzò gli oceani, arricchendone le acque di ossigeno: secondo i ricercatori, il «grande balzo in avanti» si verificò poiché solo in quel momento i cianobatteri furono in grado di fissare l'azoto atmosferico, che si dimostrò così l'elemento chiave per il successivo sviluppo delle forme di vita più evolute. Inoltre, gli scienziati hanno osservato che l'evento si colloca proprio prima della grande glaciazione del Proterozoico e quindi ipotizzano che, in qualche modo, possa esserci addirittura una correlazione tra l'aumento di azoto e ossigeno e questo drastico cambiamento climatico. Lo studio è stato pubblicato su «Current Biology».

Marina Semiglia

Image Source/Corbis

EPIDEMIOLOGIA

Prevedere le mutazioni dei virus influenzali

Un nuovo modello per valutare efficacemente quale sarà il successo evolutivo dei nuovi ceppi

L'influenza, si sa, sfugge al controllo immunitario mutando in fretta, ma oggi queste variazioni sono un po' meno imprevedibili. Ogni anno l'influenza infetta fino al 15 per cento della popolazione mondiale, che quindi diviene presto immune ai ceppi circolanti. I nuovi ceppi, mutati nelle regioni esposte al sistema immunitario (i cosiddetti epitopi), hanno quindi una *fitness* migliore, si riproducono di più e danno origine a quelli che domineranno la stagione successiva.

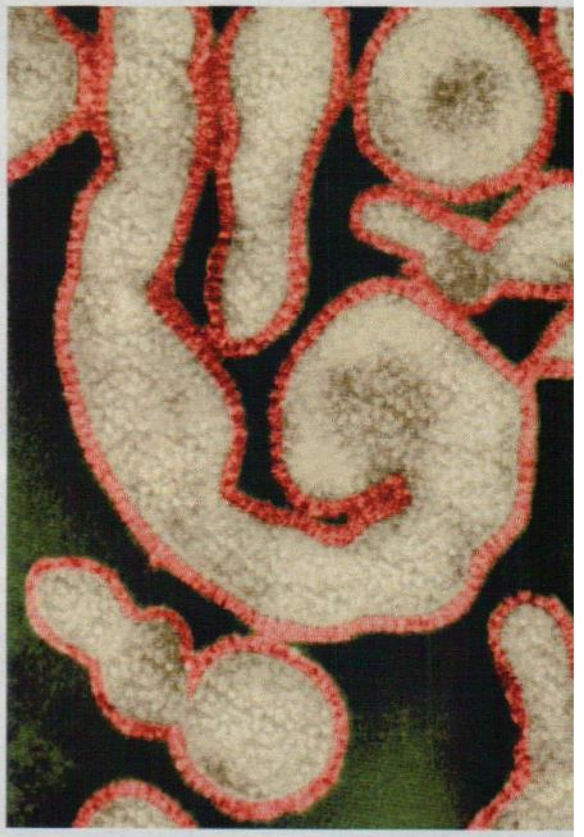
Per preparare i vaccini si cerca di prevedere quali saranno i futuri ceppi dominanti, ma è un compito difficile, non solo perché possono sempre insorgere e affermarsi nuove mutazioni impreviste, ma perché comunque è difficile pronosticare il successo o l'insuccesso delle tante varianti note.

Almeno a questa seconda sfida risponde bene il modello presentato su «Nature» da Marta Luksza e Michael Lässig, dell'Università di Colonia. Il modello assegna a ciascun ceppo un valore di fitness in base alle sue mutazioni nell'antigene più importante, l'emoagglutinina. L'idea è che le mutazioni nell'epitopo sono tendenzialmente vantaggiose, perché rendono il ceppo meno riconoscibile dagli anticorpi esistenti, mentre quelle in altre parti dell'emoagglutinina sono dannose perché ne alterano la funzione senza contropartite utili.

Gli effetti delle varie mutazioni sulla fitness sono stati stimati sulla base della successione storica dei vari ceppi di influenza A stagionale (H3N2), e il modello è stato poi messo alla prova pronosticando che cosa sarebbe accaduto nella stagione successiva. Il risultato è buono, dato che la previsione è stata corretta per oltre il 90 per cento dei gruppi per cui si attendeva una crescita e per il 76 per cento di quelli giudicati in calo. I metodi attuali considerano le differenze complessive fra gli antigeni dei vari ceppi, supponendo che quelli più diversificati prenderanno il sopravvento, ma trascurando il possibile effetto nocivo delle mutazioni fuori dagli epitopi.

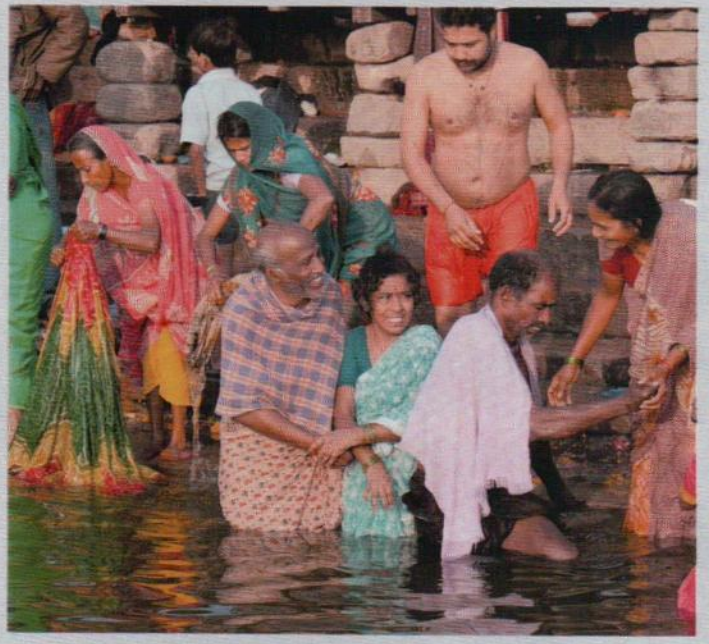
Il modello potrà ora essere perfezionato includendo gli altri sette geni del virus oltre a quello che codifica per l'emoagglutinina, così da calcolare la fitness con più precisione.

Giovanni Sabato



Dennis Kunkel Microscopy Inc./Visuals Unlimited/Corbis (*virus influenza A*); Tim Graham/Corbis (*Gange*)

Il Gange è colonizzato da superbatteri resistenti agli antibiotici



Lungo le rive del Gange si annidano pericolose colonie di superbatteri resistenti agli antibiotici. La conferma arriva da uno studio congiunto dell'Università di Newcastle e dell'Indian Institute of Technology di Delhi pubblicato su «Environmental Science and Technology».

I ricercatori hanno raccolto campioni di acqua e sedimenti in sette diverse località lungo il corso del fiume sacro. In base alle analisi, la maggiore concentrazione di patogeni si rileva nelle regioni settentrionali, ai piedi dell'Himalaya. Secondo gli autori dello studio, la causa principale è la massiccia affluenza di viaggiatori stranieri, soprattutto nei mesi di maggio e giugno. L'afflusso di pellegrini determina, a causa di un peggioramento delle condizioni igienico-sanitarie e di un sovraccarico del sistema di trattamento dei rifiuti, un aumento della presenza di geni per la resistenza agli antibiotici. In particolare, la diffusione del gene *blaNDM-1*, responsabile della resistenza multipla ai farmaci di numerosi ceppi batterici, è 60 volte più grande rispetto a qualunque altro periodo dell'anno. Una questione locale che, sottolineano gli scienziati, rischia di diventare sempre più globale.

Davide Patitucci

Il materiale più antico

Un granulo di zircone scoperto nelle Jack Hills australiane nel 2001 e datato di recente dagli scienziati della Università del Wisconsin a Madison è il materiale più antico trovato sul nostro pianeta, risalente a 4,37 miliardi di anni fa. Lo studio, pubblicato su «Nature Geoscience», dimostra che l'età della crosta terrestre è di circa 4,4 miliardi di anni: appena 100 milioni di anni più giovane del sistema Terra-Luna, che generò a breve distanza temporale dalla formazione del sistema solare, datata 4,568 miliardi di anni fa. La scoperta va dunque a sostegno della teoria della *cool early Earth*, per cui che il raffreddamento della superficie della Terra sia avvenuto molto rapidamente, permettendo all'idrosfera di formarsi relativamente presto. Di conseguenza, anche le condizioni necessarie allo sviluppo della vita sarebbero emerse in tempi piuttosto rapidi.
L'analisi del granulo di zircone è stata effettuata grazie a una tecnica innovativa che ha permesso di determinare la disposizione spaziale degli atomi di piombo, formatisi a seguito del decadimento radioattivo dell'uranio. Gli atomi non sono sparpagliati casualmente, ma raggruppati in modo ordinato, grazie a un processo durato un miliardo di anni. (FaPe)

Un nuovo minerale dal nome italiano

Di recente su «Mineralogical Magazine» è stato descritto un nuovo minerale, la diegogattaite, un silicato idrato blu-turchese. Scoperto in Sudafrica da ricercatori del Natural History Museum di Londra coordinati da Michael S. Rumsey, il suo nome è un omaggio a Giacomo Diego Gatta, professore associato del Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Milano. Rumsey e colleghi hanno voluto dedicare a Gatta il nuovo minerale «come riconoscimento del suo contributo allo studio delle proprietà strutturali di zeoliti e altri silicati con strutture a gabbia sub-nanoporose, materiali che hanno oggi un ruolo di primo piano nello sviluppo di tecnologie avanzate».

La struttura cristallina della diegogattaite, unica in natura, è caratterizzata da piani sovrapposti di ioni silicio e ossigeno che si dispongono a formare complesse gabbie tridimensionali: un tipo di struttura che richiama proprio quella di alcuni silicati sintetici nanoporosi studiati da Gatta per le loro applicazioni industriali come setacci molecolari e catalizzatori. Il nuovo minerale, conosciuto grazie ai campioni trovati nella miniera di Wessel nel deserto del Kalahari, in Africa meridionale, potrebbe rappresentare il punto di partenza per la sintesi di silicati nanoporosi di nuova concezione. (FaPe)

I colori del Giurassico

Centocinquanta milioni di anni fa, nel Giurassico Superiore, avvenne un'esplosione di colori nei piumaggi dei dinosauri e dei primi uccelli e nelle pellicce dei piccoli mammiferi che vivevano all'ombra dei grandi rettili. La scoperta, pubblicata su «Nature», deriva da un'analisi comparativa sui melanosomi, strutture cellulari contenenti melanina, di esemplari fossili e attuali.

Un gruppo internazionale guidato da Quanguo Li della China University of Geosciences a Pechino ha rilevato notevoli cambiamenti in queste strutture, responsabili di un vertiginoso aumento nella variabilità cromatica di piume, penne e peli. Un'interessante implicazione è nel ruolo metabolico della melanina. Oltre a determinare le colorazioni scure, la melanina è coinvolta nel metabolismo cellulare, tanto da aver subito una maggiore diffusione in concomitanza con l'evoluzione degli animali a sangue caldo, che hanno sviluppato peli e piumaggio come adattamento per l'omeotermia. (FaPe)

Le occhiate di fuoco delle taccole

La capacità di comunicare solo attraverso gli sguardi non sarebbe una prerogativa di esseri umani e altri primati. Uno studio pubblicato su «Biology Letters» dimostra per la prima volta la presenza di questa capacità anche in un uccello: la taccola (*Corvus monedula*), specie strettamente imparentata con corvi e cornacchie. La funzione di questo comportamento sembra legata alla serrata competizione che nasce tra le coppie nidificanti, che si scambiano sguardi di minaccia nel corso della stagione riproduttiva. La specie infatti nidifica nelle cavità degli alberi che, nell'area considerata dallo studio, vicino all'Università di Cambridge, costituiscono un fattore limitante. Lo sguardo di avvertimento avrebbe quindi la funzione di segnalare l'avvenuta occupazione di un nido e prevenire l'intrusione di esemplari conspecifici. Invece che usare segnali d'allarme vocali, che potrebbero attirare predatori, le taccole si minacciano con lo sguardo. Viene così spiegato anche il singolare colore bianco dell'iride di questa specie, diverso da tutti quelli delle specie affini, dato che risalta maggiormente sul piumaggio nero ed è anche ben visibile nelle oscure cavità dei nidi. (AnRo)

Wikimedia Commons (*zircone*), Cortesia Clarke e altri (*fossile*), Rolf Roesener/ BIA/Minden Pictures/Corbis (*taccola*)

Come salvare i lemuri

Buone notizie per i lemuri del Madagascar, il gruppo di mammiferi più minacciato al mondo. Un gruppo di illustri primatologi ha collaborato con ricercatori e conservazionisti malgasci, o che lavorano sull'isola da decenni, per elaborare un piano d'azione dedicato alla loro salvaguardia. Il progetto, descritto su «Science», contiene strategie per 30 diversi siti indicati come prioritari per la conservazione delle 101 specie, il 90 per cento delle quali è a rischio di estinzione.

Le linee guida includono una gestione più efficace delle aree protette, la creazione di un maggior numero di riserve gestite direttamente dalle comunità locali, e lo svolgimento di ricerche a lungo termine nei siti critici. Le principali minacce per questi primati endemici sono la distruzione dell'habitat e il bracconaggio, aggravati dalla perdita di finanziamenti per i programmi ambientali da parte dei donatori internazionali, in seguito alla crisi politica che ha investito il paese. (EuMe)

Da cellule epidermiche a epatiche, senza staminali

Un gruppo di ricerca dell'Università della California a San Francisco ha trasformato cellule della pelle in cellule epatiche usando una tecnica innovativa: far regredire le cellule epidermiche a uno stadio di maturazione intermedio, a metà tra quello di una cellula adulta e quello di una cellula staminale.

Prima di questa scoperta per ottenere cellule epatiche dalla pelle, le cellule epidermiche erano portate a uno stato di pluripotenza indotta, ma non sempre questo metodo portava ai risultati desiderati, spiegano gli autori dello studio, pubblicato su «Nature». Da qui l'idea di utilizzare un cocktail di geni e molecole per trasformare le cellule della pelle in cellule endodermiche, una tipologia non ancora pienamente matura da cui hanno origine molti organi tra cui il fegato. Successivamente, i ricercatori hanno individuato un insieme di geni che, una volta attivati, davano il via alla trasformazione delle cellule endodermiche in cellule del fegato. Trapiantandole in topi con insufficienza epatica, gli scienziati hanno ottenuto risultati eccezionali. Due mesi dopo il trapianto, negli animali aumentava la produzione di proteine da parte del fegato, una prova del fatto che le cellule trapiantate erano perfettamente funzionali avendo raggiunto una completa maturazione. (MaSa)

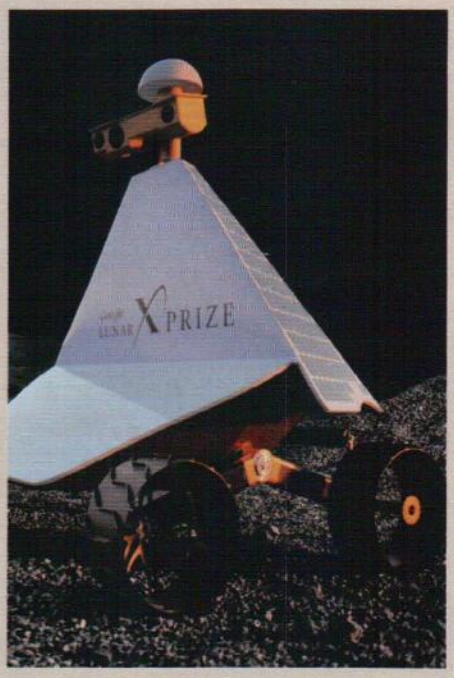
La nuova bomba demografica

Secondo Jianguo Liu, della Michigan State University, se la bomba demografica costituita dal numero complessivo di persone è stata forse disinnescata, ce n'è un'altra in arrivo: le famiglie che diventano sempre più piccole. La popolazione mondiale dovrebbe raggiungere un massimo di 9-10 miliardi di persone verso il 2050 per poi diminuire lentamente. Ma al tempo stesso, avverte Liu, le famiglie nel mondo diventeranno sempre meno numerose. Se nel 1893 una famiglia in media aveva cinque

componenti, oggi siamo a 2,5, e il calo accelera nei paesi emergenti. Questo implica che, a parità di popolazione, oggi serve il doppio di case rispetto a 100 anni fa e molta più acqua ed energia, dato che abitare in pochi in una casa è meno efficiente dal punto di vista dei consumi. Per esempio, a parità di superficie, climatizzare una casa abitata da una persona sola consuma quanto climatizzarne una con tre. L'aumento nella richiesta di materiali da costruzione, acqua ed energia, dice Liu, «provocherà un enorme stress sugli ecosistemi, e, se le dimensioni delle famiglie continueranno a diminuire, l'impatto demografico crescerà anche dopo che l'aumento della popolazione si sarà fermato». (AlSa)

Se la pubblicità sbarca sulla Luna

Immaginate se Neil Armstrong, quella notte del 20 luglio 1969, fosse sceso dal LEM sventolando una Coca Cola... Ma i tempi cambiano, e il primo rover privato sulla Luna, porterà una confezione di Pocari Sweet, una bibita gassata di Singapore. Astrobotic, uno dei cinque gruppi in gara per il Google Lunar X Prize (20 milioni di dollari al primo rover privato che farà almeno 500 metri sulla Luna), si è accordata con l'azienda asiatica per portare sul satellite una sua lattina in cambio di un paio di milioni di dollari. Un contributo indispensabile, visto che la missione lunare è ben più cara del premio di Google, e solo le sponsorizzazioni faranno, forse, quadrare i conti. Astrobotic, *spin-off* della Carnegie Mellon University, sembra il gruppo con più possibilità di vittoria, avendo già progettato lander e rover lunari. Astrobotic ha anche già prenotato il volo lunare su un razzo Falcon 9 della Space X per ottobre 2015. Ma forse Pocari Sweet non sarà tanto felice del punto di allunaggio scelto per la sua lattina, il Lacus Mortis. Geologicamente interessante, ma il cui nome non evoca allegre scampagnate con bibite gassate. (AlSa)



Jasper Doest/Foto Natura/Minden Pictures/Corbis (*lemuri*); cortesia Astrobotic (*rover*); Matthias Tunger/Corbis (*coppia*)

Il dilemma del protone

Due esperimenti hanno ottenuto valori significativamente diversi per il raggio del protone. Che cosa succede?

di Jan C. Bernauer e Randolf Pohl

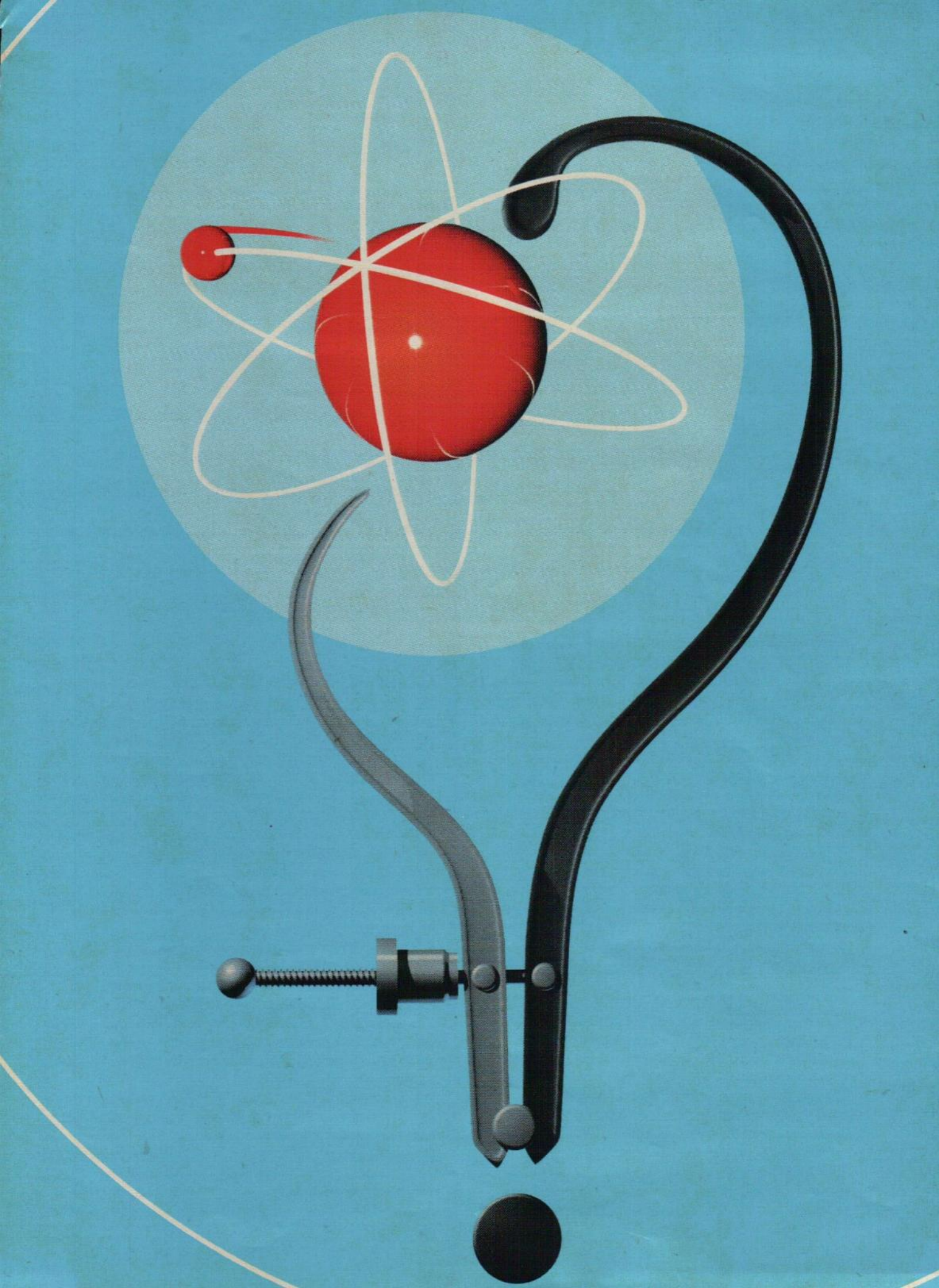
IN BREVE

Un nuovo esperimento per misurare il raggio del protone ha trovato un valore più piccolo di quello atteso.

La differenza suggerisce che ai fisici sfugga qualcosa di importante o sul protone o sulla teoria dell'elettrodinamica quantistica, finora la teoria meglio compresa e verificata di tutta la scienza.

Se siamo fortunati, questa anomalia può portare a una revisione fondamentale delle leggi della fisica.

Illustrazione di Tavis Coburn



Jan C. Bernauer è ricercatore postdoc in fisica nucleare al Laboratory for Nuclear Science del Massachusetts Institute of Technology.

Randolf Pohl si occupa di spettroscopia laser dell'idrogeno e degli atomi esotici affini all'idrogeno al Max-Planck-Institut für Quantenoptik di Garching, in Germania.

Se pensate che il protone si conosca bene, nessuno vi biasimerà. Dopo tutto è il principale componente della materia nell'universo osservabile, il combustibile delle fornaci stellari. Un secolo fa gli studi sul protone – e su come la sua carica positiva, opportunamente unita a un elettrone dalla carica negativa, formi un atomo di idrogeno – hanno avviato la rivoluzione della meccanica quantistica. Oggi gli studiosi provocano fiumi di collisioni di protoni a energie altissime per far apparire oggetti esotici della teoria delle particelle, come il bosone di Higgs.

Eppure gli ultimi studi sul protone ci hanno sorpreso. Noi e i nostri collaboratori abbiamo effettuato le più precise misurazioni di tutti i tempi del raggio del protone, nel corso di due esperimenti complementari. Quando abbiamo cominciato, pensavamo che i nostri risultati avrebbero portato a una nuova precisione nella conoscenza delle dimensioni del protone. Sbagliavamo. Le nostre due misurazioni del raggio della particella differiscono enormemente. La differenza è pari a più di cinque volte il margine di errore di ciascuna delle due misurazioni, il che implica che la probabilità che il tutto sia avvenuto per caso è inferiore a una su un milione.

Ovviamente c'è qualcosa che non va. O non capiamo in modo completo il protone, o non capiamo la fisica che si usa in queste misurazioni. Abbiamo infilato una mano nell'universo e ne abbiamo estratto un'anomalia: questo ci dà un'ottima possibilità di imparare qualcosa di nuovo.

Lo spostamento mancante

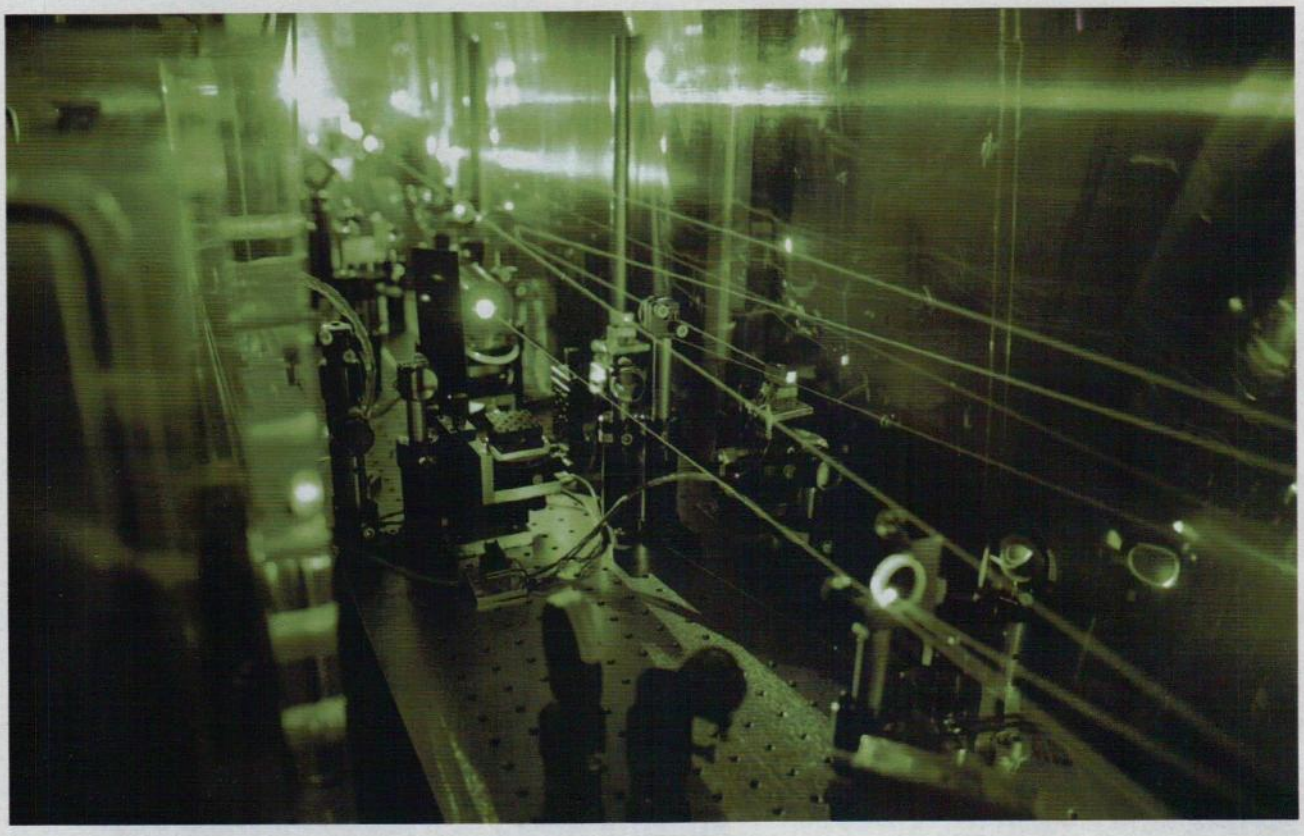
La nostra storia comincia nell'isola di San Servolo, a dieci minuti da piazza San Marco, a Venezia. Fino alla fine degli anni settanta sull'isola c'era un ospedale psichiatrico; una trentina d'anni dopo la sua chiusura, decine di fisici cominciarono a riunirsi sull'isola per discutere verifiche sempre più rigorose alla teoria che possiamo dire di conoscere meglio in tutta la fisica, se non in tutta la scienza: l'elettrodinamica quantistica (o QED, dall'inglese *quantum electro-dynamics*).

La QED risale al 1928, quando Paul A. M. Dirac unì la meccanica quantistica e la relatività ristretta in quella che adesso è nota come equazione di Dirac. È la miglior teoria che abbiamo per elettricità e magnetismo, perché descrive compiutamente come interagiscono luce e materia. Per fare un solo esempio, la QED spiega la struttura degli atomi senza usare altro che le leggi della fisica e il valore delle costanti fondamentali, come la massa dell'elettrone. Per questo i fisici usano atomi semplici, come quello dell'idrogeno, per mettere alla prova la QED. Possono prevedere l'esito di un esperimento con un margine di errore dello 0,0000000001 per cento, e i risultati sperimentali raggiungono la stessa precisione.

Noi due ci siamo conosciuti a San Servolo: entrambi stavamo per iniziare misurazioni del protone che avrebbero contribuito ad approfondire la conoscenza della QED. L'esperimento di Bernauer si accingeva a studiare la struttura interna del protone usando una versione migliorata di una tecnica che era già stata impiegata nelle misurazioni più accurate svolte fino ad allora.

Il gruppo di Pohl usava un approccio nuovo: esaminava differenze sottili nei livelli energetici di una forma esotica di idrogeno, priva di elettroni, differenze che dipendono in modo essenziale dalle dimensioni del protone. Fu Willis E. Lamb Jr, ora scomparso, a rilevare nel 1947 per la prima volta queste differenze. E i fisici continuano a chiamare questi fenomeni «spostamento di Lamb», anche se nel frattempo hanno capito che sono in gioco due cause distinte.

Il primo contributo allo spostamento di Lamb viene dalle cosiddette particelle virtuali, «spettri» che compaiono all'interno dell'atomo prima di sparire rapidamente di nuovo. Gli scienziati possono usare la QED per calcolare con precisione stupefacente come queste particelle virtuali influenzano i livelli energetici nell'atomo. Negli ultimi anni, però, qualche incertezza riguardo al secondo contributo allo spostamento di Lamb ha cominciato a limita-



Sonda per protoni. Un modo per misurare il raggio del protone consiste nel dirigere questo fascio laser regolato con precisione contro un campione di «idrogeno muonico»: atomi composti da protoni e muoni, i cugini pesanti degli elettroni.

re la portata delle previsioni. Questa seconda causa ha a che fare con il raggio del protone e con la bizzarra natura quanto-meccanica dell'elettrone.

In meccanica quantistica, l'elettrone è descritto da una funzione d'onda che, come una nube, è diffusa per tutto l'atomo. La funzione d'onda (o, più precisamente, il suo quadrato) descrive la probabilità di trovare l'elettrone in una data posizione e può assumere solo certe forme discrete che chiamiamo orbitali atomici.

Alcuni orbitali atomici, chiamati «orbitali *s*» per motivi storici, hanno una funzione d'onda che assume un massimo nel nucleo atomico. In altre parole, c'è una probabilità non nulla di trovare l'elettrone all'interno del protone stesso, una probabilità che cresce in funzione del raggio del protone. Quando l'elettrone è all'interno del protone, l'elettrone «sente» meno del solito la carica elettrica del protone, il che riduce l'intensità complessiva del legame tra protone ed elettrone.

Questa riduzione di intensità del legame modifica dello 0,02 per cento lo spostamento di Lamb dello stato a energia minima, l'orbitale 1*s*. Può sembrare una percentuale insignificante, ma la differenza di energia tra lo stato fondamentale 1*s* e il primo stato eccitato, lo stato 2*s*, è stata misurata con l'incredibile precisione di poche parti su 10^{15}. Quindi bisogna considerare anche il minuscolo effetto dovuto al raggio del protone, se si vuole confrontare la teoria QED con esperimenti di precisione.

Da otto anni il gruppo di Pohl cerca di determinare le dimensioni del protone, ma all'epoca di quel primo incontro a San Servolo sembrava che il loro esperimento non funzionasse, per quanto la cosa fosse stupefacente.

Nel frattempo la squadra di Bernauer stava per avviare uno studio complementare sul raggio del protone. Il suo approccio non si sarebbe basato sui livelli energetici dell'idrogeno, ma sulla dispersione degli elettroni sparati contro un bersaglio di idrogeno per determinare quanto sono grandi i protoni.

Tiro al bersaglio

L'idrogeno gassoso è per lo più uno sciame di protoni. Se lo si bombarda con un fascio di elettroni, alcune di queste particelle cariche negativamente vengono deviate da un protone carico positivamente e sono allontanate dalla direzione iniziale del fascio. Questa diffusione (o *scattering*), inoltre, dipende significativamente dalla struttura interna del protone. (I protoni, a differenza degli elettroni, sono formati da componenti più elementari.)

Consideriamo con più attenzione come interagiscono un protone e un elettrone quando l'uno devia l'altro: l'elettrone cede una parte della propria quantità di moto al protone e, nella QED, questa interazione viene descritta come scambio di un fotone virtuale tra l'elettrone e il protone. Se l'elettrone è deviato solo leggermente, un colpo di striscio, trasferisce una modesta parte della propria quantità di moto. Se invece la deviazione è vicina ai 180 gradi, possiamo visualizzare l'elettrone che colpisce centralmente il protone e trasferisce buona parte della propria quantità di moto. Nella QED, le quantità di moto più elevate corrispondono a fotoni virtuali con lunghezze d'onda più corte.

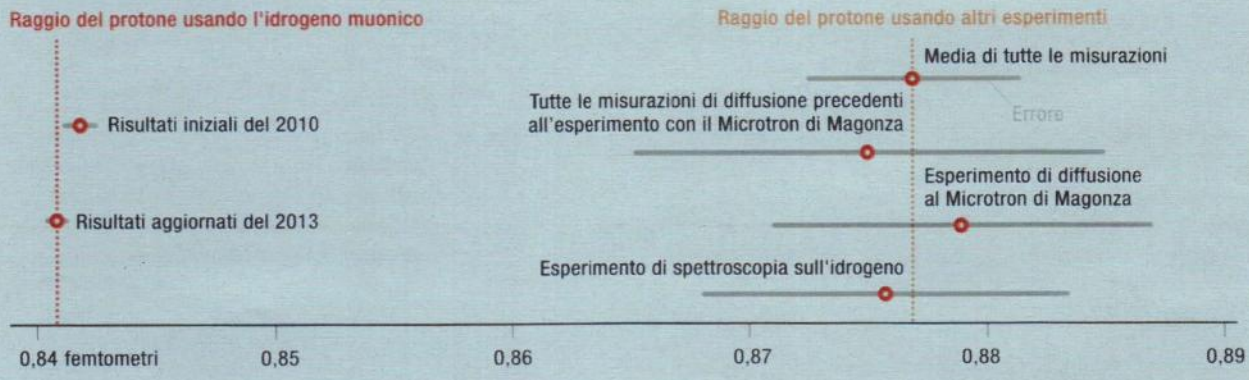
In modo simile a quanto succede nei microscopi ottici, se vogliamo osservare le strutture più piccole usiamo le lunghezze d'onda più brevi possibili. Parte del lavoro di Bernauer è consistita nell'usare lunghezze d'onda piccole per analizzare la distribuzione della carica all'interno del protone.

Cortesia A. Antognini e F. Reiser, Paul Scherrer Institut

Le misurazioni incompatibili

La dimensione del protone dovrebbe essere sempre la stessa indipendentemente da come la si misura. Il raggio del protone è stato dedotto in laboratorio in base agli esperimenti sulla diffusione (*si veda il box nella pagina a fronte*) e misurando i livelli di energia degli atomi di idrogeno negli esperimenti di spettroscopia.

Questi risultati erano tutti coerenti, entro i margini di errore sperimentale. Ma nel 2010 una misurazione dei livelli di energia del cosiddetto idrogeno muonico (*si veda il box a p. 36*) ha trovato un raggio del protone significativamente più piccolo. Fino a oggi i tentativi di spiegare questa anomalia hanno fallito.



Era prevista una sola altra settimana di osservazioni. Se non avessero avuto successo, l'esperimento ormai decennale sarebbe stato considerato un fallimento e chiuso per sempre

Quando però Bernauer è intervenuto al convegno di San Servolo, alcuni colleghi gli hanno chiesto di estendere l'esperimento. Le lunghezze d'onda brevi vanno bene per osservare le strutture all'interno del protone, ma se lo vogliamo esaminare nel complesso dobbiamo usare lunghezze d'onda maggiori. In effetti, per misurarne l'ampiezza totale (e quindi il raggio), si dovrebbe usare una lunghezza d'onda infinita, che permette al fotone di «vedere» l'intero protone; questo corrisponde al limite in cui non avviene diffusione.

Ovviamente, da un punto di vista tecnico non è possibile: gli elettroni devono essere deviati almeno un po', perché sia possibile una misurazione. Così il gruppo di Bernauer ha misurato le quantità di moto minime permesse dall'apparato sperimentale e poi ha estrapolato fino a zero.

A confronto con i vecchi esperimenti, si è riusciti quasi a dimezzare la differenza tra trasferimento minimo di quantità di moto misurato in precedenza e zero, rendendo l'estrapolazione molto più affidabile. Alla fine l'esperimento aveva un numero di misurazioni circa doppio rispetto a tutte le misurazioni precedenti messe insieme. Dopo l'esperimento, condotto tra il 2006 e il 2007, a Bernauer sono serviti tre anni per analizzare i dati, un lavoro che gli ha fruttato il PhD. Secondo il suo studio, il raggio del protone è di 0,879 femtometri, circa un decimo di miliardesimo delle dimensioni di una goccia di nebbia e in linea con le misurazioni precedenti.

Idrogeno strano

Nel frattempo Pohl e la sua squadra continuavano a darsi da fare. Nel loro esperimento l'elettrone di un atomo di idrogeno era sostituito con il suo cugino grasso, il muone. I muoni sono quasi identici agli elettroni, a eccezione del fatto che hanno massa circa 200 volte maggiore. Questa differenza fa sì che nell'idrogeno muonico il muone arrivi circa 200 volte più vicino al protone di quanto non faccia un elettrone.

Se il muone è 200 volte più vicino al protone, deve anche trascorrere un tempo significativamente maggiore all'interno del protone. (Di fatto, la probabilità aumenta di un fattore 200^3, cioè 8 milioni.) E questo, a sua volta, modifica lo spostamento di Lamb del 2 per cento, una variazione relativamente grande che dovrebbe essere facile da rilevare.

Nell'esperimento di Pohl si sparavano muoni da un acceleratore del Paul Scherrer Institut di Zurigo dentro un involucro contenente idrogeno gassoso. Occasionalmente un muone allontana un elettrone, spezzando la molecola di idrogeno e formando un atomo di idrogeno muonico in uno stato altamente eccitato. Nel giro di pochi nanosecondi l'idrogeno muonico precipita in stati energetici sempre più bassi. L'esperimento usava solo gli atomi di idrogeno che erano arrivati al primo stato di eccitazione (l'orbitale $2s$).

Ogni volta che un muone entrava nel contenitore di idrogeno, innescava un segnale di attivazione per il sistema laser, che lanciava un impulso dopo circa un microsecondo. Se il laser aveva l'esatta quantità di energia, misurata in base alla sua lunghezza d'onda, faceva passare l'atomo dallo stato $2s$ allo stato più elevato, $2p$. La forma dell'orbitale $2p$ è tale che un muone non si trova mai all'interno del protone (*si veda il box a p. 36*), e quindi misurando la differenza di energia tra gli stati $2s$ e $2p$ possiamo dedurre quanto tempo ha trascorso il muone all'interno del protone, e di qui il raggio del protone.

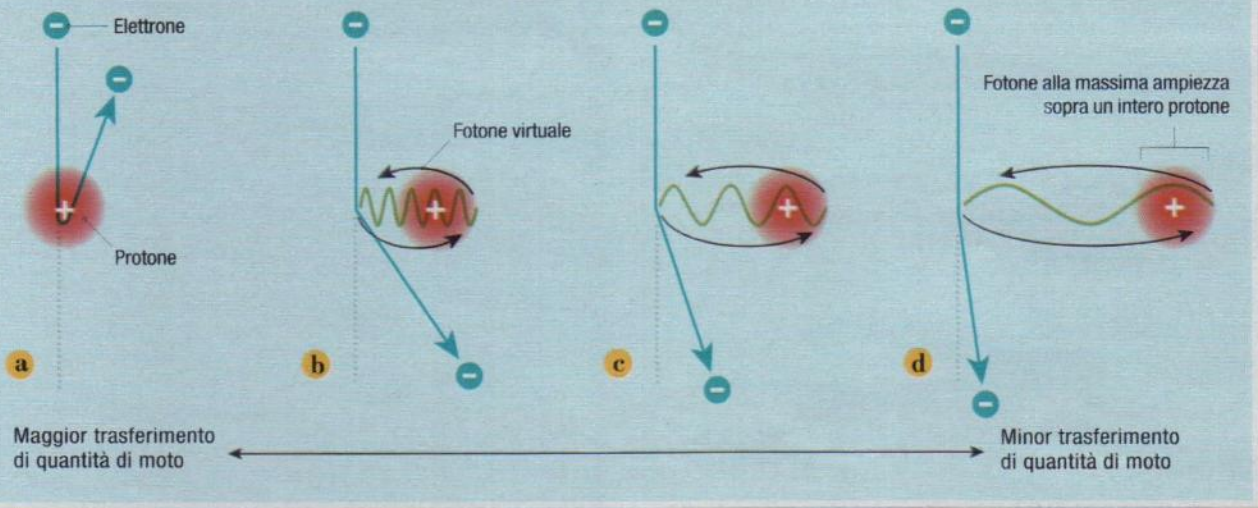
Ed ecco il punto più delicato: dovevamo regolare il laser in modo che emettesse esattamente la quantità giusta di energia. L'ato-

Grafica di Jen Christiansen
Fonte: Randolf Pohl

Spari alla cieca sul protone

Gli esperimenti basati sulla diffusione (o *scattering*) degli elettroni inviano un fascio di elettroni contro l'idrogeno, che è composto per lo più da protoni, e misurano l'entità della deviazione degli elettroni. L'elettrodinamica quantistica (QED) descrive queste interazioni in termini di scambio di fotoni «virtuali». Un elettrone che colpisce un protone scambia un fotone a breve lunghezza d'onda (**a**). Le lunghezze d'onda brevi implicano energie più elevate, che alterano vistosamente la traiettoria dell'elettrone.

Gli elettroni che passano via via più lontano dal protone producono fotoni con lunghezze d'onda sempre più lunghe (da **b** a **d**) e deviazioni sempre più piccole. L'informazione riguardo al raggio del protone è codificata nelle lunghezze d'onda più grandi. Immaginate che l'interazione tra fotone e protone dipenda dall'ampiezza del fotone. Per misurare l'intero protone, la lunghezza d'onda deve essere così grande che l'ampiezza non cambia lungo l'intera la larghezza del protone (**d**).



mo avrebbe compiuto il salto allo stato superiore solo se l'energia del laser fosse stata precisamente uguale alla differenza di energia tra gli orbitali 2*s* e 2*p*. Se la lunghezza d'onda fosse stata appena diversa, non sarebbe successo nulla. Come facevamo a sapere se gli atomi facevano il salto? Un atomo spinto allo stato 2*p* emette un fotone di raggi X a bassa energia. Trovando questi fotoni avremmo saputo che l'energia era quella giusta.

In teoria sembra semplice, ma questi esperimenti sono difficili da mettere in pratica. Esperimenti analoghi erano stati proposti per la prima volta negli anni sessanta, quando la QED era ancora abbastanza nuova, come verifiche della precisione della teoria. Ma questo esperimento era più difficile di altri complementari sull'idrogeno e su altri atomi elettronici, quindi l'interesse era svanito fino agli anni novanta, quando queste altre verifiche erano arrivate ai limiti imposti dall'incertezza sul raggio del protone.

Nel 1997 il gruppo di Pohl aveva proposto al Paul Scherrer Institut la misurazione dello spostamento di Lamb dell'idrogeno muonico. L'istituto ha approvato il progetto all'inizio del 1999; a quel punto per tre anni abbiamo costruito un sistema laser, un fascio di muoni a bassa energia e i rivelatori per i raggi X a bassa energia.

Nel 2002, dopo aver assemblato l'esperimento all'istituto, abbiamo dovuto affrontare vari problemi tecnici. Una volta risolti, avevamo a disposizione solo qualche ora per sparare veramente con il laser sull'idrogeno muonico prima che finisse il tempo assegnatoci all'acceleratore. Pohl ha vissuto una grossa delusione, perché era convinto che lo spostamento 2*s*-2*p* si sarebbe scoperto al primo tentativo. I fisici più anziani, però, erano più realisti riguardo alle prospettive della prima prova del prototipo. Era già una soddisfazione che tutto funzionasse e che fossero saltati fuori solo pochi, piccoli intoppi tecnici, che erano stati sistemati prima dell'inizio dell'esperimento vero e proprio, previsto per il 2003, in cui sicuramente avremmo osservato segnali dello spostamento di Lamb.

Poi, dopo tutti quei mesi di preparazione, tre settimane di acquisizione dati senza problemi hanno rivelato... il nulla. Neppure la minima traccia di un segnale, sebbene il laser avesse percorso l'intera regione di lunghezze d'onda che corrispondeva ai valori sperimentali noti del raggio del protone. Nulla.

Avevamo dato per scontata l'ovvia spiegazione secondo cui ci doveva essere qualcosa che non andava nel nostro esperimento. All'epoca avevamo concluso che avremmo dovuto migliorare il sistema laser. Di lì alla fine del 2006 abbiamo progettato nuovamente buona parte del sistema, prelevato dati per altre tre settimane nel 2007 e di nuovo non abbiamo osservato nulla. Per fortuna c'è stata un'ultima possibilità nella prima metà del 2009. È stato necessario qualche mese per avviare il complesso apparato. Ancora una volta, dopo una settimana di raccolta di ottimi dati non abbiamo trovato traccia di un segnale.

Era prevista una sola altra settimana di osservazioni. Temevamo che, se non avessero avuto successo, qualcuno all'istituto avrebbe concluso che non eravamo all'altezza del compito: l'esperimento ormai decennale sarebbe stato considerato un fallimento e chiuso per sempre.

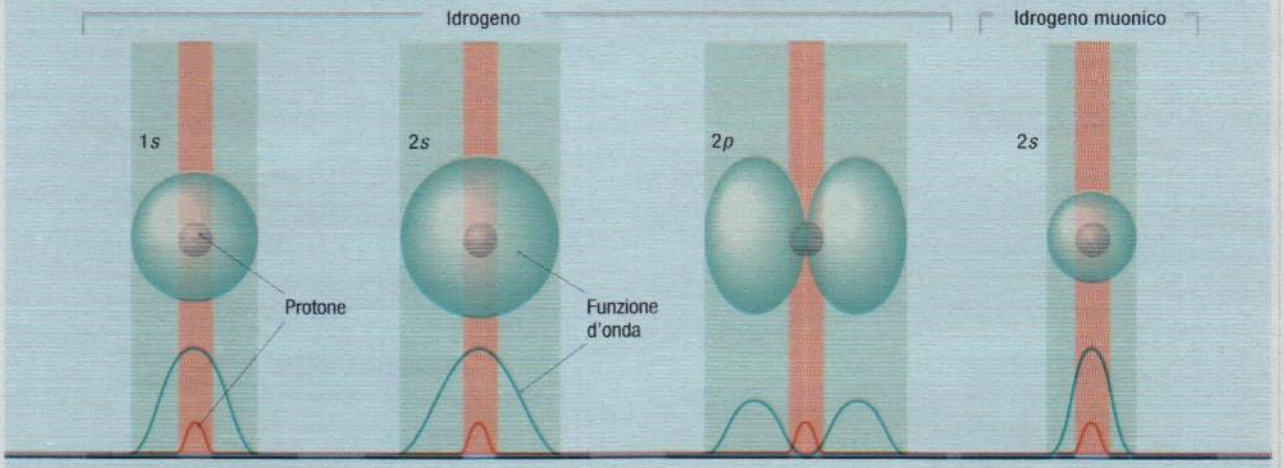
A quel punto finalmente abbiamo iniziato a chiederci se non stesse succedendo qualcosa di più profondo. Stavamo forse cercando il protone nel posto sbagliato? Abbiamo deciso di allargare ulteriormente la regione di ricerca, di cercare un raggio maggiore. Quella sera stessa, però, Aldo Antognini, un collega di Pohl, è piombato nella sala di controllo dicendo che si sentiva ispi-

La tecnica dell'idrogeno strano

L'elettrone dell'idrogeno prende la forma di una nube di probabilità detta funzione d'onda. A volte la funzione d'onda si sovrappone al protone, il che significa che l'elettrone potrebbe trovarsi nel protone. Questa sovrapposizione altera l'energia dell'atomo; si può misurare questo «spostamento di Lamb» per dedurre le dimensioni del protone. Un protone più grande produrrà spostamenti più grandi. I ricercatori hanno anche sostituito gli elettroni con i muoni, che hanno una funzione d'onda più piccola e quindi passano meno tempo all'interno nel protone, per incrementare il segnale.

Una sovrapposizione cruciale

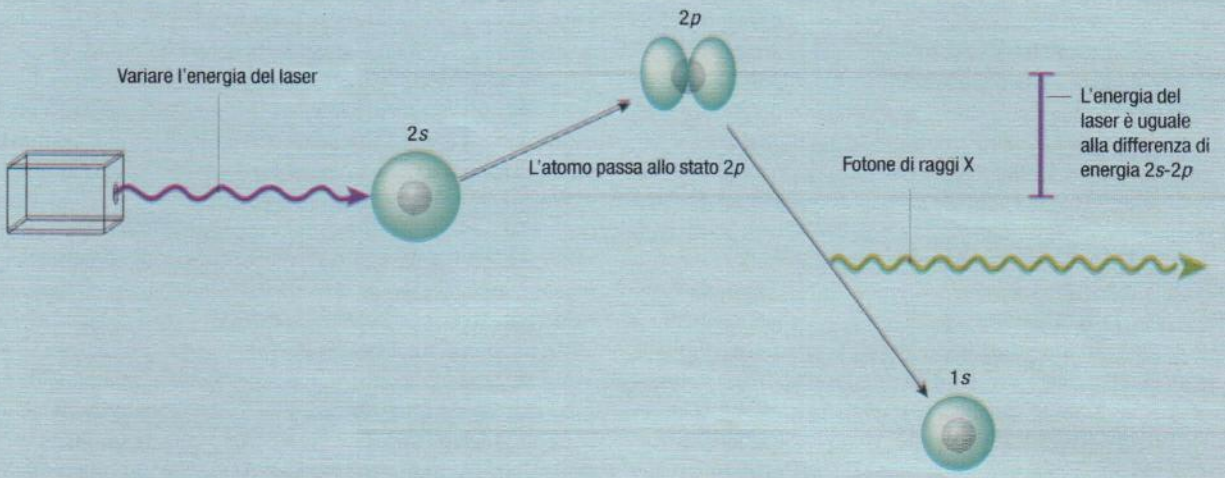
La forma dell'idrogeno dipende dalla sua energia. Negli orbitali *s*, gli stati di minima energia, la funzione d'onda e il protone si sovrappongono. Negli orbitali *p*, dotati di maggior energia, non c'è sovrapposizione. I ricercatori misurano la differenza di energia tra gli orbitali *s* e *p* per trovare lo spostamento di Lamb dovuto alla dimensione del protone. L'idrogeno muonico incrementa la sovrapposizione tra protone e funzione d'onda e amplifica lo spostamento di Lamb.



Se l'energia del laser non corrisponde esattamente alla differenza di energia tra gli orbitali 2*s* e 2*p*, non succede nulla.

L'esperimento

L'idrogeno muonico si produce sparando un fascio di muoni contro l'idrogeno (*non mostrato*). Circa l'1 per cento degli atomi risultanti si troverà nello stato 2*s*. Poi viene inviato un fascio laser con un'energia precisa (*a sinistra*). Per la maggior parte delle lunghezze d'onda non succede nulla. Ma se la lunghezza d'onda corrisponde esattamente alla differenza di energia tra 2*s* e 2*p* (*sotto*), l'atomo salterà a uno stato energetico superiore, e poi ricadrà a 1*s*, emettendo un fotone di raggi X. Dato che la differenza di energia tra gli stati 2*s* e 2*p* dipende dallo spostamento di Lamb, i ricercatori usano questa misurazione per trovare il raggio del protone.



rato verso la ricerca di un protone più piccolo. Con poco tempo a disposizione, Pohl e Antognini hanno modificato la ricerca per puntare a un raggio del protone più piccolo rispetto a quello che si aveva anche solo il diritto di pensare. Abbiamo trovato rapidamente un accenno di segnale. Ma proprio il giorno dopo l'acceleratore è stato spento per quattro giorni di manutenzione programmata. Dovevamo aspettare.

Poi, la sera del 4 luglio 2009, ovvero 12 anni dopo l'avvio dell'impresa, è comparso un segnale inequivocabile che ci diceva che il protone misurato nell'idrogeno muonico era significativamente più piccolo di quanto chiunque avesse creduto in precedenza. Il gruppo ha passato diverse altre settimane a effettuare misurazioni e calibrazioni aggiuntive e qualche mese ad analizzare i dati. Il risultato finale, che da allora abbiamo confermato con altre misurazioni, è un raggio del protone di 0,8409 femtometri, più o meno 0,0004. È un dato dieci volte più accurato di qualsiasi misurazione precedente, ma ne differisce del 4 per cento, che è un divario enorme.

Nel 2010 i nostri gruppi hanno condiviso i risultati al convegno Precision Physics of Simple Atoms a Les Houches, nelle Alpi francesi. Pohl ha presentato per la prima volta i risultati sulla misurazione dell'idrogeno muonico. Lo stesso giorno sono stati annunciati i dati dell'esperimento di Bernauer. Pohl e collaboratori si aspettavano che l'analisi di Bernauer avrebbe confermato il nuovo risultato più piccolo. Invece, inaspettatamente, i risultati di Bernauer erano in linea con il vecchio raggio: 0,877 femtometri.

Nuove idee

Questa discrepanza ha animato la comunità scientifica: questi casi sono utili perché stimolano nuove riflessioni, da cui emergono nuove idee e una migliore conoscenza della natura. All'inizio la maggior parte dei ricercatori ha pensato che doveva esserci un semplice errore. Forse non andava qualcosa negli esperimenti, o forse i calcoli teorici necessari per ricavare il raggio erano sbagliati. Subito dopo il convegno, vari scienziati hanno proposto numerosi possibili errori.

Per esempio, prima dell'esperimento di Pohl solo tre persone avevano svolto i complessi calcoli necessari per tradurre le misurazioni sperimentali delle lunghezze d'onda del laser in un raggio del protone. Molti hanno ipotizzato errori od omissioni e così molti fisici teorici hanno ripetuto ed esteso i calcoli, ma non hanno trovato errori.

Altri hanno riesaminato il modo in cui Bernauer aveva estrapolato il raggio dai dati sullo scattering: era possibile riconciliare i dati grezzi con il raggio più piccolo trovato per l'idrogeno muonico? Sembra che anche questa via sia stata esclusa. Ogni volta che una possibile correzione falliva, l'impatto della discrepanza era più forte. Quattro anni dopo la comparsa dell'enigma del raggio del protone i fisici hanno esaurito le spiegazioni semplici, come errori nelle misurazioni o nei calcoli. Adesso abbiamo cominciato a ipotizzare altre possibilità più affascinanti.

Per esempio, sappiamo veramente come reagisce il protone all'attrazione del muone? La forza elettrostatica del muone deforma il protone in un modo simile a quello in cui la gravità della Luna genera maree sulla Terra. Il protone deformato modifica lievemente l'orbitale 2*s* dell'idrogeno muonico. In genere si pensa che questo fenomeno sia ben compreso, ma il protone è un sistema così complesso che potrebbe esserci sfuggito qualcosa.

La possibilità più affascinante è che queste misurazioni possano essere un indizio di una nuova fisica che vada oltre il modello standard della fisica delle particelle. Forse l'universo contiene una particella ancora non individuata che in qualche modo fa sì che i muoni si comportino diversamente dagli elettroni. Alcuni fisici hanno studiato questa possibilità, ma trovano difficile definire una nuova particella che non produca anche conseguenze osservabili che violano i risultati di altri esperimenti.

D'altro canto i fisici hanno già un altro enigma da risolvere a proposito dei muoni. Le particelle fondamentali come muoni ed elettroni hanno un momento magnetico: un campo magnetico analogo a quello di una calamita a barra. La cosa significativa è che il momento magnetico del muone non corrisponde ai calcoli della QED. Forse nuovi fenomeni spiegheranno la misurazione del raggio del protone e l'anomalo momento magnetico del muone.

Per dare una risposta a questi dubbi sono stati proposti diversi nuovi esperimenti. Almeno due esperimenti sulla diffusione – uno alla Thomas Jefferson National Accelerator Facility di Newport News, in Virginia, e un altro al Microtron della Johannes Gutenberg-Universität di Magonza, dove Bernauer ha svolto il suo esperimento originario – sperano di migliorare l'accuratezza dei precedenti esperimenti di diffusione. Queste misurazioni daranno verifiche indipendenti e metteranno alla prova alcune delle spiegazioni proposte.

Quattro anni dopo la comparsa dell'enigma i fisici hanno esaurito le spiegazioni semplici. Adesso abbiamo cominciato a ipotizzare altre possibilità più affascinanti

Sia il gruppo di Pohl sia la squadra di Magonza intendono misurare il raggio del nucleo del deuterio, composto da un protone e da un neutrone, per vedere se anche in questo caso si trova la stessa differenza. Pohl intende anche misurare il normale idrogeno elettronico con una precisione maggiore.

In più molti fisici hanno notato che le misurazioni atomiche sono state effettuate usando sia muoni sia elettroni, ma negli esperimenti di diffusione si sono usati solo elettroni: manca la combinazione muoni-diffusione. Bernauer collabora a un esperimento che intende colmare questa lacuna. Usando un fascio di muoni del Paul Scherrer Institut, lo stesso istituto in cui Pohl ha effettuato il proprio esperimento, il Muon-Proton Scattering Experiment (MUSE) diffonderà sia elettroni che muoni contro i protoni per fare un confronto diretto. L'esperimento permetterà di verificare alcune delle più verosimili tra le spiegazioni proposte.

Solo il tempo dirà se l'enigma del raggio si rivelerà un bizzarro errore o l'accesso verso una più profonda conoscenza dell'universo. Potrebbe essere il filo da tirare per sbrogliare il prossimo capitolo del libro della natura. E noi lo tireremo. ■

PER APPROFONDIRE

The Size of the Proton. Pohl R. e altri, in «Nature», Vol. 466, pp. 213-216, 8 luglio 2010.

High-Precision Determination of the Electric and Magnetic Form Factors of the Proton. Bernauer J.C. e altri, in «Physical Review Letters», Vol. 105, n. 24, articolo n. 242001, 10 dicembre 2010.

Muonic Hydrogen and the Proton Radius Puzzle. Pohl R. e altri, in «Annual Review of Nuclear and Particle Science», Vol. 63, pp. 175-204, ottobre 2013.

Lo spettro dell'idrogeno atomico. Hänsch T.W., Schawlow A.L. e Series G.W., in «Le Scienze» n. 129, maggio 1979.

APRILE 1987

James L. McGaugh è *research professor* in apprendimento e memoria all'Università della California a Irvine. I suoi studi si sono concentrati sul rapporto fra memoria ed emozioni.

Aurora LePort è specializzanda in psicologia all'Università della California a Irvine. Ha effettuato studi psicologici e fisiologici su persone con una memoria prodigiosa.

NEUROSCIENZE

Memorie prodigiose

Alcune persone ricordano eventi di vent'anni prima con un dettaglio quasi identico a quelli vissuti ieri

di James L. McGaugh e Aurora LePort

IN BREVE

Quattordici anni fa una persona aveva affermato di poter ricordare in dettaglio eventi del passato lontano della propria vita.

La pubblicità di questo caso ha poi fatto venire alla luce centinaia di persone che vantavano un'analoga capacità di ricordare.

I test hanno confermato che decine di queste persone espongono in dettaglio dopo decenni eventi accaduti un certo giorno.

Ora i neuroscienziati studiano i fondamenti biologici di questa capacità, la cosiddetta «memoria autobiografica superiore».

Mitch Payne (*foto*); illustrazione di Kyle Bean

Sul finire della primavera del 2000 uno di noi (McGaugh) ricevette un'e-mail da Jill Price, una donna alle prese con problemi causati dalla sua memoria. Ecco un stralcio significativo: «Mentre sono qui seduta e cerco di capire da dove cominciare a spiegare la ragione per cui le scrivo... Spero solo che lei possa fare qualcosa per me. Ho 34 anni, e da quando ne avevo 11 ho questa incredibile facoltà di ricordare il passato... Prendo una data a caso tra il 1974 e oggi e posso dirle quale giorno della settimana era e che cosa facevo quel giorno. E se in quella data è successo qualcosa di importante sono in grado descriverlo altrettanto bene. Non ho bisogno di guardare l'agenda, e da 24 anni non leggo neanche il mio diario».

Eravamo scettici riguardo alle affermazioni di Price, ma abbastanza incuriositi da invitarla al nostro centro all'Università della California a Irvine, dove studiamo le basi neurobiologiche della memoria. Qualche mese dopo, il 24 giugno, la donna venne a un appuntamento. Era sabato. Sappiamo con certezza la data perché la sua visita era stata registrata sul calendario del laboratorio. E, come presto scoprimmo, Price ricorda questi fatti senza bisogno di alcun calendario.

In quel primo colloquio fummo prudenti e cercammo strumenti oggettivi per valutare le affermazioni della donna. Non era possibile verificare su due piedi quello che ci diceva sul suo passato. Potevamo però farle domande su avvenimenti pubblici accaduti durante la sua vita. Avevamo una copia di un libro fresco di stampa – *20th Century day by day*, di Sharon Lucas – che conteneva articoli di eventi quotidiani verificatisi negli ultimi 100 anni.

Partimmo dalla metà degli anni settanta, quando Price per la prima volta aveva capito di avere una memoria fuori dal comune. Quando le chiedemmo che cosa era successo il 16 agosto 1977, rispose subito che quel giorno era morto Elvis Presley. Quando poi la interrogammo sul 6 giugno 1978 rispose che quel giorno in California fu approvato un referendum (*Proposition 13*), che riduceva le imposte sulle proprietà immobiliari; il 25 maggio 1979 era il giorno in cui un aereo si schiantò a Chicago; il 3 maggio 1991 quello dell'ultima puntata di *Dallas*, e così via. Price rispose correttamente ogni volta.

Poi invertimmo il processo, e chiedemmo a Price di indicarci la data di un particolare evento: quando spararono a J.R.? Quando venne picchiato dalla polizia Rodney King? Anche stavolta Price rispose immediatamente in modo corretto. Durante il test la donna scoprì un errore nel libro dei grandi eventi. Riguardava la data di inizio della crisi degli ostaggi nell'ambasciata degli Stati Uniti in Iran nel 1979.

Sebbene molte date usate come test fossero eventi pubblici che avevano ricevuto un'attenzione considerevole da parte dei mezzi di comunicazione, Price eccelleva anche nel ricordare episodi meno significativi. Ricordava correttamente che Bing Crosby era morto in Spagna il 14 ottobre 1977, durante una lezione di golf. Quando le chiedemmo come facesse a saperlo Jill rispose che, all'età di 11 anni, ascoltò la notizia della morte di Crosby dall'autoradio mentre sua madre la portava a una partita di calcio. Durante un colloquio la donna descrisse il suo ricordare le date visivamente: «Quando sento una data la vedo, vedo il giorno, il mese, l'anno».

In un colloquio successivo, nel marzo 2003, la donna riuscì a ricordare, con un solo errore, le date delle 23 Pasque precedenti e che cosa aveva fatto in ciascuno di quei giorni. Va poi considerato che Price è ebrea. Abbiamo potuto verificare molte sue affermazioni controllando un diario che aveva tenuto per molti anni. Per alcuni suoi ricordi personali abbiamo consultato nostre registrazioni che documentavano i test delle sue capacità mnemoniche. In un colloquio successivo la donna ricordava correttamente le date di ogni nostro colloquio e i dettagli sulle domande che le avevamo fatto sui suoi ricordi di eventi passati.

Una volta convinti che le capacità mentali da agenda di Price erano reali, volevamo sapere se questa sua capacità si estendeva ad altri aspetti della memoria. Scoprimmo che la donna non ha una «memoria fotografica», ovvero non ricorda i dettagli più insignificanti dell'esperienza quotidiana: ricorda a fatica quale chiave va in quale serratura, stila una lista delle mansioni da sbrigare e non eccelle quando impara i fatti a memoria.

Price ricorda immediatamente il giorno della settimana per qualsiasi data della sua vita, a partire da quando aveva 11 anni. La sua memoria si distingue per ricordi molti organizzati, facilmente accessibili e accurati di buona parte dei giorni della sua vita dalla preadolescenza in poi. Prima che Jill mettesse piede nel nostro laboratorio questo particolare tipo di memoria – che chiamiamo memoria autobiografica superiore (HSAM, da *highly superior autobiographical memory*) o ipertinesia – non era stata studiata. Ora esploriamo ulteriormente le sue radici biologiche e psicologiche, con la speranza che una maggiore comprensione possa portare a una conoscenza più ampia sui processi alla base della memoria.

Quanto è diffusa la supermemoria?

Per anni abbiamo identificato Price con le iniziali false A.J., rispettando il suo desiderio di anonimato. Nel 2006 abbiamo pubblicato un articolo sulla sua memoria straordinaria. Questo lavoro ha avuto una notevole risonanza negli Stati Uniti e il 19 e il 20 aprile 2006 siamo andati in onda sulla National Public Radio. Nel frattempo Price aveva deciso di venire allo scoperto, e in seguito, nel 2008, avrebbe pubblicato un libro: *The Woman Who Can't Forget* (in Italia è stato pubblicato nel 2011 da Edizioni Piemme con il titolo *La donna che non può dimenticare*).

A seguito di questa pubblicità siamo stati contattati da altre persone che ritenevano di avere capacità mnemoniche simili. E dopo averle sottoposte a test rigorosi, abbiamo identificato altri cinque soggetti con memoria autobiografica superiore. Il 19 di-

Nel 2000 una richiesta di aiuto da parte di Jill Price, qui nel salotto della sua casa, a ricercatori dell'Università della California a Irvine, ha avviato una catena di eventi che ha permesso di identificare numerose persone dotate di memoria superiore.

Bryce Duffy

cembre 2010 queste cinque persone sono comparse in *60 minutes*, il programma di interviste della rete televisiva CBS. Poche ore dopo la messa in onda della puntata abbiamo ricevuto decine di e-mail di presunti soggetti con memoria autobiografica superiore, e in pochi giorni sono diventati centinaia. Abbiamo contattato telefonicamente molti di loro e li abbiamo sottoposti a un test facendo domande di sport e di eventi politici, di personaggi famosi, di vacanze, di incidenti aerei e di altri eventi di cronaca.

Abbiamo anche avviato procedure più formali per test nel nostro centro, arruolando decine di volontari di «controllo» con età simile a quella del gruppo di memoria superiore; inoltre entrambi i gruppi avevano la stessa proporzione di uomini e donne. Durante i test alcuni soggetti che affermavano di avere una memoria eccezionale hanno mostrato risultati peggiori dei soggetti di controllo. Credere di avere una memoria autobiografica superiore non è sufficiente per averla.

I circa 40 soggetti che se la sono cavata bene, e con loro il gruppo di controllo, sono stati sottoposti a un ulteriore test in cui dovevano identificare il giorno della settimana di ciascuna di dieci date scelte a caso, oltre a un evento clamoroso verificatosi in prossimità di quella data. Come gruppo, quello dei presunti HSAM se l'era cavata decisamente meglio dei colleghi di controllo in tutte le componenti del test.

Undici tra le persone con i risultati migliori sono poi venute nel nostro laboratorio universitario a Irvine per test più approfonditi. In un primo momento è stato chiesto loro di rispondere a domande su cinque esperienze personali che potevamo verificare: eventi come il loro primo giorno di università e alle elementari, la celebrazione del diciottesimo compleanno, l'indirizzo e la descrizione della loro prima residenza una volta lasciata la casa dei genitori, la data del loro esame finale al *college*. Gli 11 potenziali soggetti HSAM hanno superato di gran lunga i soggetti di controllo: hanno registrato un punteggio complessivo dell'85 per cento nel rispondere alle domande rispetto all'8 per cento dei soggetti di controllo. Abbiamo quindi concluso che queste persone, di età compresa tra 27 e 60 anni, hanno evidentemente una memoria autobiografica superiore.

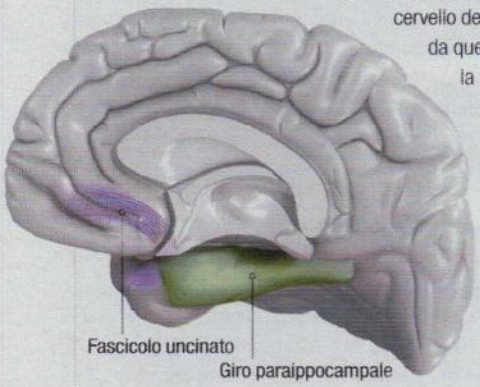
Abbiamo anche provato a distinguere il gruppo HSAM da altri gruppi in base a numerosi test di memoria di laboratorio. I soggetti HSAM sono stati più bravi dei colleghi di controllo solo in due prove su otto: la prima associava nomi a volti, la seconda verificava il richiamo alla memoria di oggetti visivi. In entrambe le prove però i punteggi dei due gruppi si sono sovrapposti in modo considerevole. Il gruppo HSAM si è distinto per poche altre peculiarità: 5 su 11, un numero superiore alla media, erano mancini, e avevano ottenuto punteggi significativamente superiori in un test sui tratti della personalità ossessivo-compulsiva. Inoltre le interviste hanno messo in luce comportamenti compulsivi, come l'accumulo di oggetti e sforzi eccessivi per evitare di toccare cose potenzialmente piene di germi.

Un'ulteriore domanda per capire la HSAM ha riguardato l'eventualità che queste differenze di memoria potessero essere collegate a differenze nel cervello dei membri del nostro gruppo. L'*imaging* a risonanza magnetica (MRI) ha mostrato che diverse regioni cerebrali dei soggetti HSAM erano differenti da quelle dei soggetti di controllo. Alcune aree di materia grigia (il tessuto composto dai corpi cellulari dei neuroni) e la materia bianca (i prolungamenti a forma di cavo dei neuroni rivestiti di un materiale isolante biancastro, la mielina) erano diverse rispetto ai soggetti di controllo per forma e dimensioni. Inoltre la struttura delle fibre della materia bianca indicava maggiore efficienza nel trasferire le informazioni tra regioni cerebrali.

Le scoperte di altri laboratori sugli effetti di lesioni cerebrali, come anche le ricerche con neuroimmagini, basate sulla risonanza magnetica funzionale (fMRI) e sulla tomografia a emissione di positroni, hanno suggerito che le regioni cerebrali e i percorsi delle fibre nervose che risaltano nei soggetti HSAM sono implicati nel

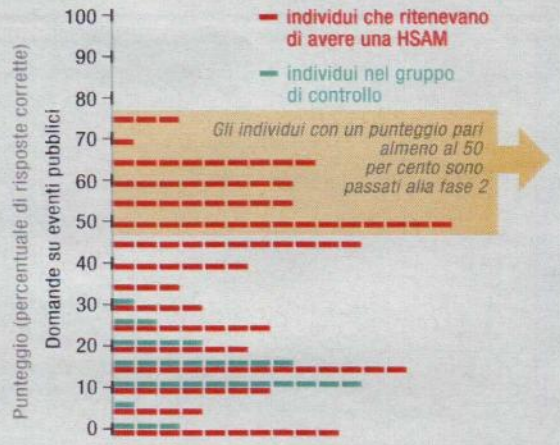
Supermemorie in laboratorio

La prima sfida affrontata dagli scienziati nello studio di persone che affermavano di ricordare eventi risalenti a decenni prima è stata verificare le affermazioni di questi soggetti. Un gruppo di ricerca dell'Università della California a Irvine ha sviluppato un processo di valutazione a più fasi (*grafici a destra*), che ha permesso di classificare decine di individui dotati di memoria autobiografica superiore, o HSAM. Come passo successivo, gli scienziati hanno cercato di capire se il cervello delle persone del gruppo HSAM differiva da quelli deo soggetti con una memoria nella norma. Le scansioni cerebrali hanno messo in risalto due regioni collegate alla memoria: il fascicolo uncinato, un tratto di fibre nervose che collega la corteccia frontale con quella temporale, e il giro paraippocampale sono collegati meglio con altre aree cerebrali.



Fase 1: domande su eventi pubblici

Più di un terzo del gruppo che aveva identificato se stesso come HSAM ricordava almeno il 50 per cento di elementi degni di nota, un livello non eguagliato dai soggetti di controllo.



ricordare gli eventi della vita (memoria autobiografica). Nel nostro gruppo, la struttura di un tratto di fibre, il fascicolo uncinato, che trasmette informazioni tra la corteccia temporale e quella frontale, sembrava avere collegamenti migliori rispetto al gruppo di controllo. Il risultato è interessante perché sappiamo che una lesione di questa struttura compromette la memoria autobiografica.

Ovviamente i nostri risultati sono solo orientativi. Non sappiamo se queste differenze anatomiche fra il cervello dei soggetti HSAM e quello dei soggetti di controllo contribuiscano all'eccezionale abilità mnemonica o se, invece, possano essere una conseguenza del ricorso a quella abilità. Per scoprirlo dobbiamo stabilire se la memoria autobiografica superiore compare nella prima infanzia. Se questa abilità ha un fondamento genetico, prima o poi dovremmo trovare i geni coinvolti. Eppure ancora oggi mancano le prove di un'incidenza maggiore di questa capacità in parenti dei soggetti del gruppo HSAM.

Un profilo emergente

I nostri dati ci hanno permesso di trarre conclusioni provvisorie su queste persone straordinarie. La prima è che i soggetti HSAM non sviluppano una memoria superiore perché imparano le cose più rapidamente degli altri. I membri del gruppo HSAM si distinguono per la capacità di conservare quello che imparano. Alcuni di noi, con una memoria nella media, ricordano per qualche giorno se una lezione o un incontro di lavoro c'è stato martedì scorso, un'informazione che svanirà in circa una settimana, a differenza delle persone HSAM: i loro ricordi durano molto più a lungo.

La seconda conclusione è che sappiamo che i sistemi di memoria delle persone con memoria autobiografica superiore non sono registratori video e audio fedeli di ogni millisecondo della loro esistenza. La memoria autobiografica superiore è diversa dalla memoria di «S», il protagonista di *Una memoria prodigiosa*, di Aleksandr Lurija, un resoconto ormai classico del 1968 di un suo paziente che memorizzava con estrema facilità quantità enormi di informazioni relativamente insignificanti, come righe e colonne di numeri. E la memoria autobiografica superiore nemmeno somiglia a quella delle persone che si allenano ripetendo in modo continuo, né all'uso di trucchi mnemonici per imparare, per esempio, il valore del pi greco fino a migliaia di cifre decimali.

I ricordi del gruppo HSAM sono meno dettagliati di quelli del protagonista di Lurija, ma sono molto organizzati, associati con un particolare giorno e data. Sappiamo anche che questa abilità si manifesta in modo naturale, senza uno sforzo studiato a tavolino. Molte domande che abbiamo usato nei test riguardano argomenti specifici, come il clima di una certa giornata, ricordi a cui difficilmente potevano aver dedicato faticosi esercizi. Quando abbiamo chiesto in che modo avessero ottenuto quell'informazione, le persone HSAM rispondevano laconiche: «Lo so, punto». E, anche provando un piacere mentale nel collegare una data a un evento, in genere hanno mostrato uno scarso interesse nel sapere che cosa è successo nelle date antecedenti alla loro nascita.

In genere le persone HSAM apprezzano la loro speciale capacità, e questo le rende diverse dal personaggio eponimo del racconto *Funes, o della memoria*, contenuto in *Finzioni*, libro di Jorge Luis Borges del 1962. Disarcionato da cavallo, Funes acquisì la capacità di memorizzare in dettaglio i ricordi delle esperienze successive all'evento: ricordava addirittura l'immagine di ogni foglia su ogni albero che aveva visto. Questi ricordi erano una tortura, al punto che Funes pensava alla sua vita come a un cumulo di ciarpame. Sebbene Price ci avesse detto che i suoi ricordi erano un peso, la maggior parte delle persone HSAM apprezza questo vivido accesso al passato: quasi tutti conducevano una vita sociale e professionale attiva; alcuni fanno parte del mondo dello spettacolo, come l'attrice Marilu Hemmer e il produttore e attore Robert Petrella.

La straordinaria capacità delle persone HSAM non conferisce superpoteri con cui surclassare i colleghi. Petrella ha avuto un'opportunità per sfruttare questa capacità quando ha scritto *The Book of Bob*, in cui ha segnato, per ogni giorno dell'anno, la migliore esperienza di quella data durante la sua vita da adulto. Ma è stato un passatempo, senza relazione con la professione di produttore.

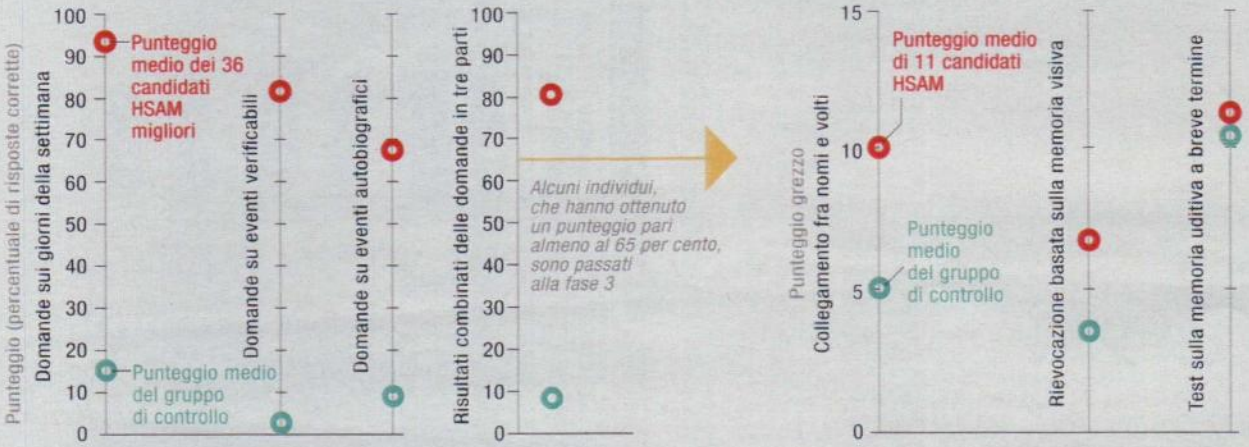
Illustrazione di AXS Biomedical Animation Studio; grafici di Jen Christiansen. Fonte: *Behavioral and Neuroanatomical Investigation of Highly Superior Autobiographical Memory (HSAM)*, di Aurora K. R. LePort e altri, in «Neurobiology of Learning and Memory», Vol. 98, n. 1, luglio 2012.

Fase 2: test sulle date

Il gruppo HSAM eccelleva in un test in cui doveva identificare i giorni della settimana ed eventi pubblici e personali verificabili, accaduti in un insieme casuale di dieci date.

Fase 3: test cognitivo

Un sottoinsieme del gruppo HSAM aveva buone prestazioni solo in alcune misurazioni cognitive della memoria, collegare i nomi ai volti e il ricordo di immagini, ma non in altre, come i test della memoria a breve termine.



Gli studi sulla memoria autobiografica superiore fanno parte di una ricca storia di ricerche psicologiche su persone con deficit e talenti insoliti. Nel 1881 lo psicologo francese Théodule Ribot riferì che un danno cerebrale comprometteva i ricordi nuovi, ma conservava quelli vecchi. Nei decenni recenti gli studi pionieristici di Brenda Milner, della McGill University, in Canada, basati sul paziente Henry Molaison, conosciuto per lungo tempo solo come H.M., hanno aiutato a capire che cosa accade quando perdiamo la capacità di formare nuovi ricordi autobiografici. Dopo l'asportazione chirurgica di una parte del cervello – i lobi temporali mediani anteriori dei due emisferi, per la cura dell'epilessia – Molaison aveva perso quasi per intero la capacità di memorizzare nuova informazione autobiografica, sebbene la sua memoria di esperienze precedenti fosse rimasta quasi intatta e l'apprendimento motorio del movimento, la memoria procedurale, fosse rimasto integro.

Queste scoperte hanno permesso di capire che diversi sistemi cerebrali sono responsabili di tipi differenti di memoria, rivoluzionando gli studi sulla capacità mnemonica. La nuova scoperta di persone con ricordi intensi e durevoli sia di comuni esperienze personali sia di eventi pubblici significativi ha stimolato ricerche che ci fanno capire come il cervello incamera e recupera i ricordi di eventi trascorsi.

Come un muscolo

A partire dagli studi dello psicologo Hermann Ebbinghaus del 1885 sulla memoria è stato ampiamente dimostrato che la ripetizione di informazioni che vogliamo imparare rinforza la memoria. Più di recente Henry L. Roediger III, della Washington University a St. Louis, e Jeffrey D. Karpicke, della Purdue University, hanno scoperto che il richiamo in memoria, che fa tornare in mente un ricordo per pochi istanti, rinforza la rievocazione.

Ma anche con l'esercizio una persona dalla memoria nella norma difficilmente eguaglierà le capacità dei nostri soggetti HSAM, che non si sono allenati per nessuno dei nostri test. McGaugh ha dedicato anni a studi da cui è emerso che ognuno di noi ha ricordi più intensi delle esperienze emotivamente importanti. Nuova e curiosa è la scoperta che le persone HSAM hanno facilità a generare ricordi intensi persino di eventi banali.

Nonostante la copertura dei mezzi di comunicazione, finora abbiamo individuato soltanto una cinquantina di soggetti HSAM tra le diverse centinaia di possibili candidati che ci hanno contattato: una proporzione modesta del numero totale di spettatori e lettori venuti a conoscenza delle nostre ricerche. Se questa abilità permette di adattarsi con successo alle sfide della vita, perché è così rara? E se la memoria autobiografica superiore fosse il residuo di un'abilità un tempo importante e oggi quasi perduta? Prima dell'invenzione della stampa la cultura umana era in buona parte conservata nelle storie e nella conoscenza trasmesse oralmente tra generazioni. In quel mondo una memoria prodigiosa avrebbe permesso uno status elevato fra i pari. Ma il bisogno di questa capacità mentale assai organizzata sta svanendo, e con l'introduzione di computer e *smartphone* potrebbe essere già superata.

È possibile, e forse probabile, che molti soggetti da noi esclusi nei primi test come non dotati di HSAM abbiano altre capacità mnemoniche che dobbiamo ancora identificare. Alcuni di loro potrebbero avere ricordi lucidi del passato e, a differenza dei soggetti HSAM, non li datano mentalmente. Questo aprirebbe nuove prospettive di ricerca. Invece di occuparci dei deficit mentali, noi ricercatori potremmo avere l'opportunità, offerta da una e-mail di 14 anni fa, per capire meglio come funziona il cervello studiando i campioni olimpici della memoria umana. ■

PER APPROFONDIRE

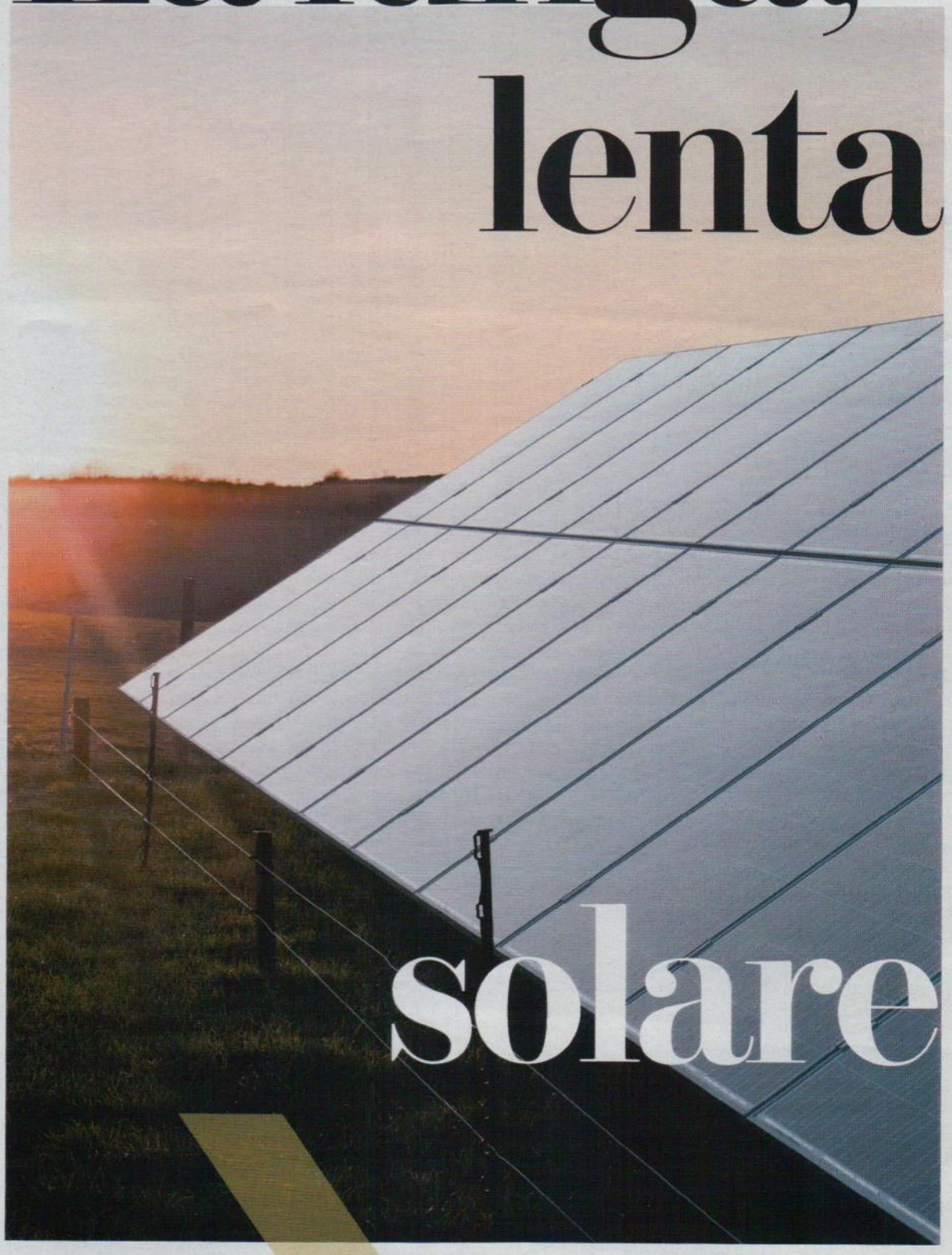
Una memoria prodigiosa. Lurija A., Editori Riuniti, Roma, 1972; Mondadori, Milano, 2002.

Memory and Emotion: The Making of Lasting Memories. McGaugh J.L., Columbia University Press, 2003.

Behavioral and Neuroanatomical Investigation of Highly Superior Autobiographical Memory (HSAM). LePort A.K.R. e altri, in «Neurobiology of Learning and Memory», Vol. 98, n. 1, pp. 78-92, luglio 2012.

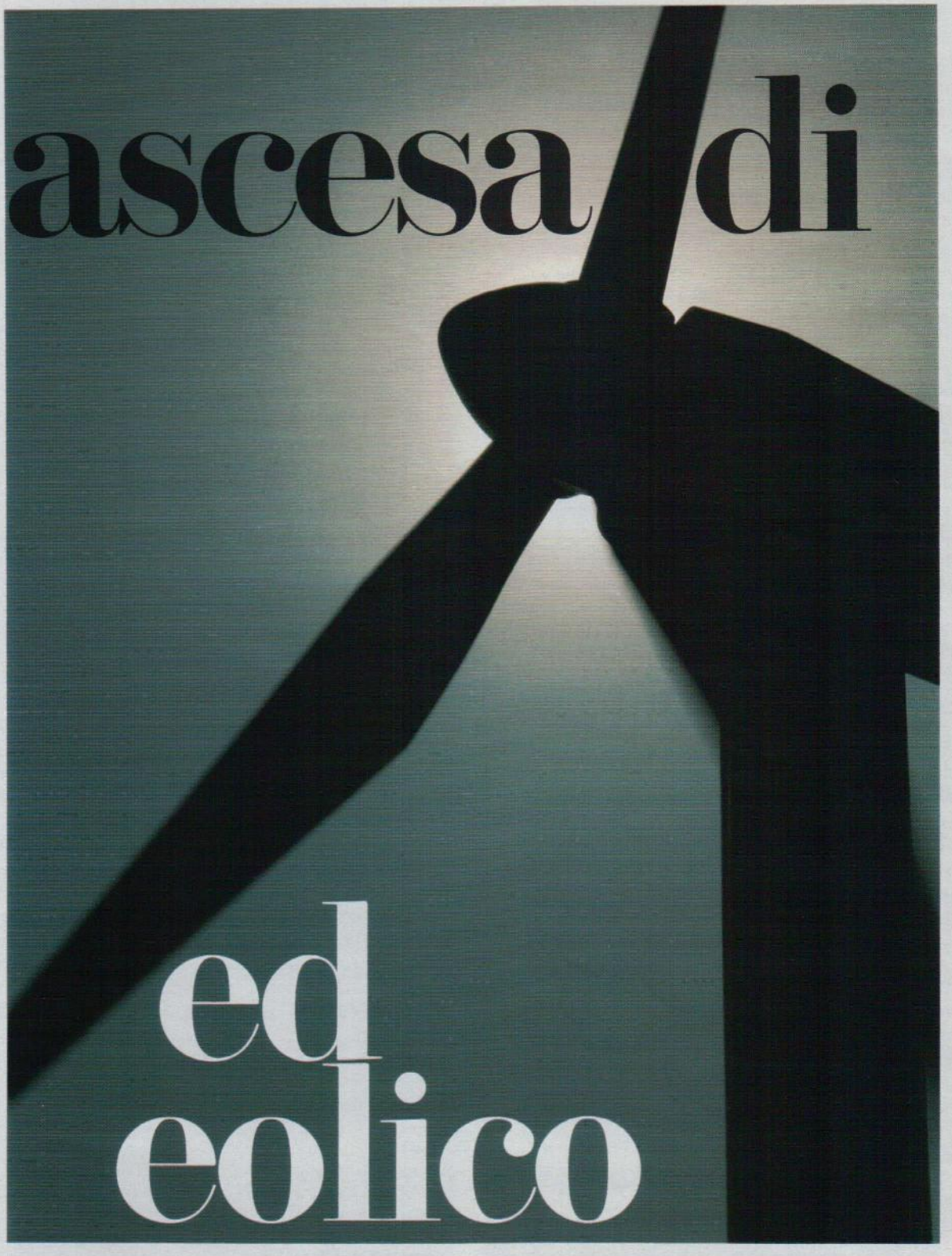
ENERGIA

La lunga, lenta solare



La speranza di una transizione rapida e travolgente

ascesa di ed eolico



alle energie rinnovabili è una mera illusione

di Vaclav Smil

Vaclav Smil, illustre professore emerito dell'Università del Manitoba, è autore di oltre trenta pubblicazioni su temi di energia e ambiente.

Le energie rinnovabili potrebbero conquistare il mondo. Così predisse nel 1976 l'ambientalista Amory Lovins, affermando che entro il 2000 un terzo dell'energia consumata negli Stati Uniti sarebbe stato prodotto da più fonti rinnovabili piccole e decentrate. Anni dopo, nel 2008, Al Gore disse che trasformare interamente la rete elettrica nazionale in un decennio era «fattibile e rivoluzionario».

E nel dicembre 2009 Mark Jacobson e Mark Delucchi pubblicarono un articolo (*Verso un'energia sostenibile entro il 2030*, in «Le Scienze» n. 496) in cui presentavano un piano per trasformare interamente in appena vent'anni la fornitura energetica mondiale a favore di fonti di energia rinnovabili.

Ma tra il 1990 e il 2012 la quantità globale di energia generata da combustibili fossili è scesa appena dall'88 all'87 per cento, rimanendo quindi pressoché invariata. Nel 2011 le energie rinnovabili hanno coperto meno del 10 per cento del fabbisogno energetico statunitense, e si è trattato per la maggior parte di energia prodotta da fonti rinnovabili «vecchie», per esempio da centrali idroelettriche o dalla combustione degli scarti ottenuti dal taglio del legname. Dopo oltre vent'anni di forti investimenti nello sviluppo di fonti di energia rinnovabili, quelle «nuove» – eolico, solare e moderni biocarburanti come l'etanolo da mais – coprono appena il 3,35 per cento della fornitura energetica del paese.

La lentezza di questa transizione a forme di energia rinnovabili non è una sorpresa. Anzi, era prevista. Negli Stati Uniti, come nel resto del mondo, ci sono voluti ogni volta dai cinquanta ai sessant'anni prima che un combustibile riuscisse ad affermarsi in modo capillare e a dominare il mercato. Prima si è passati dalla legna al carbon fossile. Poi dal carbone al petrolio. Ora gli Stati Uniti stanno attraversando una terza grande transizione energetica, da carbon fossile e petrolio a gas naturale. Tra il 2001 e il 2012, negli Stati Uniti, il consumo di carbone è sceso del 20 per cento e quello di greggio del 7 per cento, mentre il consumo di gas naturale è salito del 14 per cento. Tuttavia, pur essendo il gas naturale abbondante, pulito ed economicamente abbordabile, serviranno altri dieci o vent'anni prima che il suo uso possa superare il consumo di carbone, che genera ancora oltre un terzo dell'elettricità statunitense.

Le energie rinnovabili non stanno decollando più in fretta di quanto abbiano fatto i nuovi combustibili del passato. L'idea che possano affermarsi più rapidamente non poggia su alcuna base tecnica o finanziaria, anche perché la domanda mondiale di energia sta crescendo così in fretta che è già difficile tenere il passo con il gas naturale, men che meno con le rinnovabili.

Il cambiamento può avvenire in alcuni paesi più velocemente che in altri, ma a livello globale il passaggio a fonti energetiche rinnovabili procederà lentamente, mentre l'attuale sostituzione del carbone con il gas naturale giunge a completamento. Certo, è possibile che una nuova tecnologia dirompente o una politica rivoluzionaria prendano piede e accelerino il cambiamento, ma le transizioni energetiche hanno bisogno di tempo.

Dal legno al carbone, al petrolio

Le grandi speranze odierne per una sostituzione vasta e repentina dei combustibili fossili con fonti energetiche rinnovabili sono alimentate per lo più da mere illusioni e da una cattiva interpretazione della storia recente. Gran parte delle persone pensa che nel XIX secolo – l'epoca dell'industrializzazione rapida – il consumo energetico mondiale sia stato dominato dal carbone, che il XX secolo sia stato l'epoca del petrolio, e che il secolo corrente apparterrà alle energie rinnovabili. Le prime due idee sono sbagliate; l'ultima resta opinabile.

Malgrado la rapida diffusione delle macchine industriali, il XIX secolo non è stato alimentato dal carbon fossile. È avanzato, invece, grazie al legno, al carbone vegetale e ai residui delle colture (per lo più paglia), che hanno fatto fronte all'85 per cento del fabbisogno energetico mondiale, circa 2,4 yottajoule (yJ = 10^{24} joule). Il carbon fossile ha iniziato a soddisfare più del 5 per cento della domanda energetica solo attorno al 1840, e nel 1900 riusciva a coprirne appena metà. Ci sono voluti, insomma, tra i cinquanta e i sessant'anni perché la sua quota di mercato crescesse dal 5 al 50 per cento.

Alcune statistiche abbastanza affidabili relative agli Stati Uniti indicano il 1885 come l'anno in cui l'energia prodotta dai combustibili fossili (per lo più carbon fossile, un po' di petrolio greggio e un volume molto ridotto di gas naturale) ha sorpassato l'energia prodotta da legno e carbone vegetale. In Francia la svolta è avve-

IN BREVE

Tutte le grandi transizioni energetiche globali – da legno a carbon fossile a petrolio – hanno richiesto dai cinquanta ai sessant'anni. L'attuale transizione al gas naturale avrà bisogno di tempi altrettanto lunghi.

Non c'è motivo per credere che la sostituzione delle energie fossili con fonti rinnovabili debba fare eccezione e avvenire più rapidamente. Nei paesi ricchi, le vecchie energie rinnovabili come l'idroelettrico sono già state spinte al limite, quindi la crescita dovrà arrivare da fonti rinnovabili nuove come l'eolico, il solare e i biocarburanti che, nel complesso, nel 2011 hanno coperto appena il 3,35 per cento del fabbisogno energetico degli Stati Uniti.

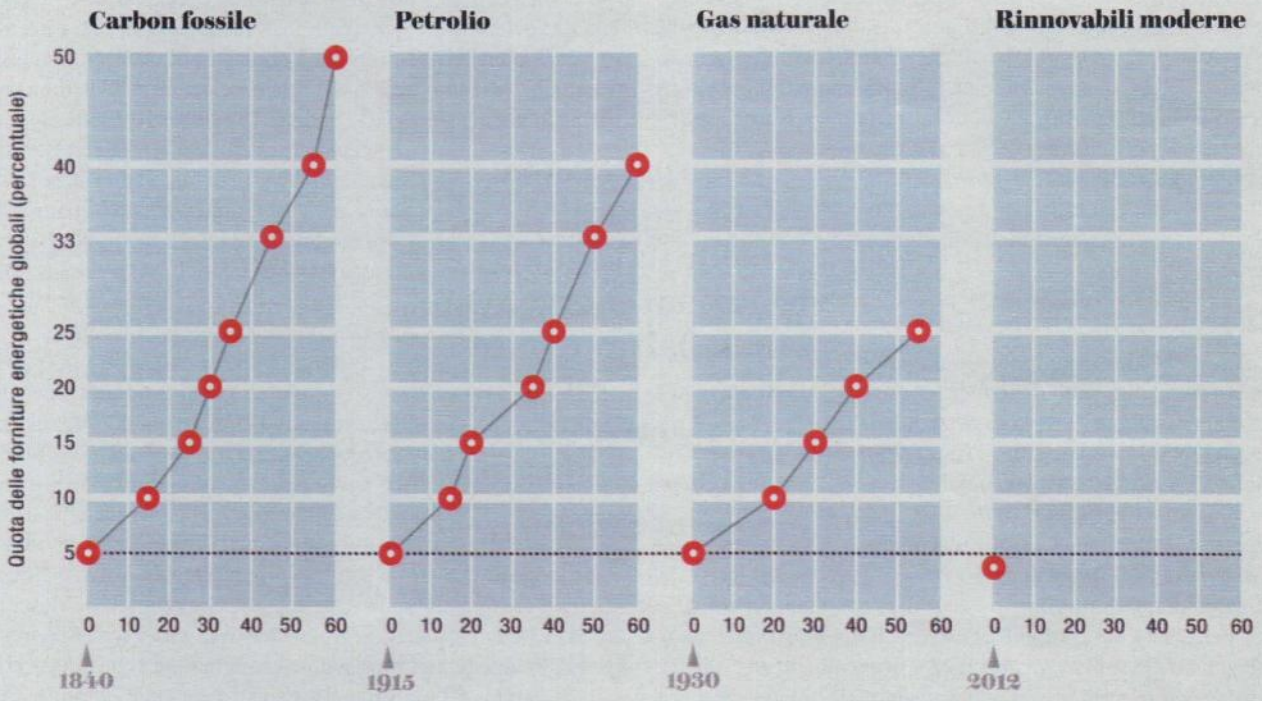
Secondo l'autore, tuttavia, certe politiche energetiche potrebbero accelerare l'ascesa delle rinnovabili, tra cui il finanziamento di ricerche in più tecnologie diverse, la fine dei sussidi non necessari, l'attenzione a far sì che i prezzi riflettano gli autentici costi per l'ambiente e la salute delle varie forme di energia e, infine, il miglioramento dell'efficienza energetica globale.

Pagine precedenti: Oli Kellett/Getty Images (*pannelli solari*); Martin Soeby/Gallery Stock (*turbina*; *a fronte*: Grafica di Jen Christiansen; fonti: BP Statistical Review of World Energy; United Nation Statistics Division

Quanti anni per conquistare il mondo dell'energia?

Le principali fonti che hanno dominato l'approvvigionamento energetico mondiale hanno impiegato dai cinquanta ai sessant'anni per arrivare al primo posto. Il carbon fossile ha conquistato il 5 per cento delle forniture mondiali nel 1840 (*in basso a sinistra*), e ha sostituito la legna gradualmente, raggiungendo il 50 per cento circa sessant'anni più tardi, attorno al 1900. La storia delle transizioni successive mostra che il petrolio e il gas naturale hanno raggiunto le stesse percentuali nei livelli di fornitura (asse verticale) seguendo un andamento simile, salendo costantemente dopo aver raggiunto il livello del 5 per cento.

Il petrolio non ha ancora raggiunto il 50 per cento delle forniture energetiche mondiali e potrebbe non raggiungerlo mai. Il gas naturale è ancora a metà strada, e sta impiegando più tempo a conquistare le stesse quote di mercato. Le cosiddette fonti energetiche rinnovabili moderne – eolico, solare, geotermico e biocombustibili liquidi – si sono collocate appena attorno al 3,4 per cento: a meno che una nuova dirompente tecnologia o una politica energetica rivoluzionaria non intervengano ad accelerare il cambiamento, potrebbero essere destinate anch'esse a una transizione lenta e prolungata nel tempo.



Anni trascorsi da quando una fonte energetica ha iniziato a coprire il 5 per cento della domanda globale

nuta nel 1895, e in Giappone nel 1901; nell'Unione Sovietica, invece, si è dovuto attendere fino al 1930, in Cina fino al 1965 e in India addirittura fino alla fine degli anni settanta.

In modo analogo, nel XX secolo la principale fonte energetica non è stata il petrolio, ma il carbon fossile. Il carbone bituminoso e la lignite hanno raggiunto la quota più alta del consumo globale di combustibile, circa il 55 per cento, intorno al 1910, ma il greggio ha sorpassato il carbon fossile solo nel 1964.

Tuttavia, poiché il declino dell'importanza relativa del carbone è stato accompagnato da un aumento costante del fabbisogno energetico globale, in termini generali il combustibile più importante del XX secolo è stato il carbon fossile, non il petrolio greggio: il carbone ha infatti fornito circa 5,3 yottajoule di energia, mentre il petrolio si è fermato ad appena 4 yottajoule. Finora solo due potenze economiche hanno completato la terza transizione tra i combustibili fossili: il consumo di gas naturale ha sorpassato quello di petrolio greggio nel 1984 in Unione Sovietica e nel 1999 in Gran Bretagna.

Un modo che ho scelto per dimostrare che queste transizioni avvengono in modo graduale e si prolungano per decenni è riportare in un grafico il tasso di crescita di una fonte energetica in funzione del tempo. Comincio a prendere in considerazione un combustibile quando raggiunge il 5 per cento delle forniture energetiche totali e vedo quando diventa dominante.

Le tre sostituzioni successive mostrano somiglianze interessanti (*si veda il box in alto*). Il carbon fossile (che ha sostituito il legno) ha conquistato il 5 per cento del mercato globale attorno al 1840, il 10 per cento nel 1855, il 15 per cento nel 1865, il 20 per cento nel 1870, il 25 per cento nel 1875, il 33 per cento nel 1885, il 40 per cento nel 1895 e infine il 50 per cento nel 1900. La sequenza degli anni necessari per raggiungere questi traguardi fondamentali è stata di 15, 25, 30, 35, 45, 55 e 60. Gli intervalli temporali della transizione dal dominio del carbon fossile a quello del petrolio, partito al livello del 5 per cento nel 1915, sono praticamente identici.

Il gas naturale ha raggiunto il 5 per cento del mercato energetico globale attorno al 1930. Ha raggiunto quote pari al 10, al 15, al 20 e al 25 per cento del mercato energetico rispettivamente in 20, 30, 40 e 55 anni, ed è sulla buona strada per riuscire a coprire il 33 per cento del mercato totale. Se confrontiamo le sequenze

di numeri, possiamo osservare che il gas naturale ha impiegato un tempo significativamente maggiore per arrivare coprire il 25 per cento del fabbisogno energetico totale: circa 55 anni contro i 35 impiegati dal carbon fossile e i 40 impiegati dal petrolio.

Tre semplici sequenze di numeri non bastano a dettare il ritmo delle transizioni energetiche globali future. Inoltre un reale progresso tecnologico verso un'energia nucleare economica e sicura oppure la scoperta di una tecnica per immagazzinare scorte massicce di energia generata dall'eolico o dal solare potrebbero accelerare il cambiamento. Ma le analogie nella progressione delle tre grandi rivoluzioni energetiche mondiali degli ultimi due secoli sono comunque sorprendenti, in particolare perché i diversi tipi di combustibile esaminati hanno richiesto tecniche di produzione differenti, nonché differenti canali di distribuzione e tecnologie diverse per essere convertiti in forme di energia adoperabili direttamente, che si sia trattato di motori diesel per i treni o di impianti di riscaldamento casalinghi. A livello mondiale, gli enormi investimenti e la costruzione di infrastrutture necessarie affinché qualsiasi nuova fonte di energia possa conquistare una vasta quota del mercato globale si devono protrarre per due o tre generazioni: in altre parole, dai cinquanta ai settantacinque anni.

La progressione temporale delle tre grandi rivoluzioni energetiche mondiali avvenute nel corso degli ultimi due secoli presenta diverse analogie sorprendenti

La sfida delle rinnovabili

Fino a oggi lo sviluppo delle tecnologie per lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili ha seguito lo stesso andamento lento. Nel 2011 le fonti rinnovabili hanno generato il 9,39 per cento dell'energia consumata negli Stati Uniti: 9,637 miliardi di miliardi di joule sui 102,652 miliardi di miliardi consumati in totale. Le fonti energetiche rinnovabili tradizionali ne hanno coperto il 6,01 per cento: gli impianti idroelettrici il 3,25 per cento, il legno (per lo più scarti provenienti dalla lavorazione del legname) il 2,04 per cento, mentre alla piccola percentuale restante hanno contribuito le biomasse e il geotermico. Il contributo delle «nuove» energie rinnovabili è stato trascurabile: i biocarburanti liquidi si sono fermati al 2,0 per cento, l'eolico all'1,19 per cento e il solare allo 0,16 per cento.

Quel totale, pari al 3,35 per cento di energia prodotta da nuove fonti rinnovabili, è una cifra importante. Negli Stati Uniti, in futuro, qualsiasi contributo aggiuntivo al fabbisogno nazionale proveniente da energie rinnovabili dovrà in pratica provenire da queste fonti, perché quelle vecchie, in particolare l'idroelettrico, hanno un potenziale di crescita ulteriore davvero limitato.

La transizione a forme di energia rinnovabili è una vera sfida. Anzitutto per la portata del cambiamento: nel 2012 il consumo globale di energia fossile è stato pari a circa 450 exajoule (1×10^{18} joule), venti volte superiore a quello dell'ultimo decennio del XIX secolo, quando il carbon fossile stava prendendo il sopravvento sul legname. Generare una quantità di energia così grande, qualunque ne sia l'origine, è un compito spaventoso, e una sua buona percentuale dovrà provenire dagli Stati Uniti, che oggi consumano quasi un quinto dell'energia mondiale.

Un altro fattore è la natura intermittente dell'energia solare e di quella eolica. Le società moderne hanno bisogno di forniture elettriche affidabili e ininterrotte, in grado di far fronte all'aumento della domanda energetica nelle ore notturne e di provvedere all'alimentazione degli impianti di aria condizionata e delle infrastrutture elettroniche delle megalopoli, dalle metropolitane ai server Internet. Negli Stati Uniti il carbon fossile e l'energia nucleare fanno fronte al «carico di base» della domanda energetica, quella quota di elettricità prodotta stabilmente giorno e notte. Le centrali idroelettriche e a gas naturale, che possono essere spente e riaccese in poco tempo, coprono di solito la frazione di energia supplementare necessaria a soddisfare i picchi nella domanda, di breve durata ma di solito molto intensi, che in alcuni periodi si sommano alla domanda di base.

L'eolico e il solare possono contribuire a soddisfare la domanda di base, ma da soli non possono coprirla completamente perché il vento non soffia con continuità e la sera il Sole tramonta, quindi non è possibile prevedere in modo certo la quantità di energia prodotta da queste fonti. In paesi come la Germania, dove le energie rinnovabili sono già cresciute in modo sostanziale, l'eolico e il solare contribuiscono con una quota che si colloca in un punto non ben definito tra il trascurabile e circa metà della domanda totale in periodi soleggiati e ventosi. Queste ampie fluttuazioni richiedono il sostegno di centrali energetiche di natura diversa, di solito alimentate a carbone o a gas naturale, oppure un aumento delle importazioni di elettricità. In Germania questa forte variabilità può provocare importanti disagi nella distribuzione dell'elettricità per alcuni dei paesi vicini.

Se le compagnie elettriche potessero contare su un metodo economico per immagazzinare l'enorme quantità di energia in eccesso generata dall'eolico e dal solare nei periodi in cui la domanda è bassa, creando una riserva cui accedere in seguito per soddisfare la richiesta nei periodi di picco, allora le energie rinnovabili crescerebbero molto più in fretta. Purtroppo decenni di sviluppo tecnologico sono riusciti a offrirci solo una soluzione praticabile e su vasta scala: pompare acqua in un bacino idrico sopraelevato in modo che questa possa, in seguito, rifluire verso il basso attraverso una turbina e generare elettricità. Purtroppo però non ci sono molte località in cui la differenza di quota o lo spazio disponibile consentono la messa in opera di questo sistema, e il processo implica comunque una perdita netta di energia.

La soluzione alternativa consiste nel costruire su un'area estremamente ampia – delle dimensioni di una grande nazione o di mezzo continente – un'enorme schiera di impianti eolici e solari e collegarli alle linee di trasmissione elettrica, così da massimizzare la probabilità che almeno una parte del complesso sia sempre in condizione di distribuire energia alla rete elettrica. Linee di trasmissione migliori e più lunghe sono tecnicamente possibili, ma le tecniche di costruzione sono spesso complesse, e l'installazione delle infrastrutture necessarie deve vincere la ferma opposizione delle comunità locali: non a caso, sia in Germania sia negli Stati Uniti l'approvazione di nuove linee di trasmissione sta procedendo a ritmo molto lento.

In definitiva, l'adozione di massa delle energie rinnovabili richiede una riorganizzazione sostanziale delle nostre attuali infrastrutture energetiche. Per quanto concerne l'elettricità, significa passare da un piccolo numero di centrali termoelettriche o idroelettriche molto grandi a un numero molto grande di impianti eolici o solari più piccoli e distribuiti sul territorio. Per i combustibili liquidi, invece, implica abbandonare l'estrazione di petrolio, ad

alta densità energetica, a favore di biocombustibili a densità energetica molto più bassa. In questo senso, dunque, la transizione verso il rinnovabile è più impegnativa di quanto siano stati il passaggio dal carbon fossile al petrolio e poi al gas naturale.

L'ultimo fattore che contribuisce a rallentare la transizione è costituito dalle dimensioni e dal costo delle infrastrutture esistenti. Anche se fosse possibile ottenere energia rinnovabile gratis, dal punto di vista economico sarebbe inconcepibile chiedere a nazioni, corporazioni e distretti urbani di abbandonare gli enormi investimenti compiuti nel sistema basato sui combustibili fossili, dalle miniere di carbone ai pozzi petroliferi, dai gasdotti alle raffinerie di petrolio, fino alle migliaia di stazioni di rifornimento locali: infrastrutture che a livello globale valgono complessivamente qualcosa come 20.000 miliardi di dollari. Secondo i miei calcoli, tra il 2001 e il 2010 la sola Cina ha speso circa 500 miliardi di dollari per aumentare la sua capacità di produzione energetica dal carbon fossile di circa 300 gigawatt – una cifra superiore alla capacità di produzione di energia dai combustibili fossili di Germania, Francia, Gran Bretagna, Italia e Spagna messe insieme – e ci si aspetta che questi nuovi impianti restino operativi per almeno trent'anni. Nessuna nazione abbandonerebbe un investimento simile.

Che cosa fare?

Sia ben chiaro: le ragioni di carattere ambientale per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili sono molte e non si limitano alla riduzione delle emissioni di gas serra. I combustibili fossili generano ossidi di zolfo e azoto che provocano piogge acide e smog fotochimico, particolato carbonioso che contribuisce al riscaldamento globale e metalli pesanti pericolosi per la salute dell'uomo. La nostra dipendenza dai combustibili fossili contribuisce inoltre all'inquinamento delle falde acquifere e rovina la terra. La transizione a forme di energia non fossili è auspicabile dal punto di vista ambientale, nonostante anche alcune forme energetiche alternative abbiano un impatto ambientale importante.

La vera domanda è come raggiungere il punto di svolta nel modo più efficiente possibile. Sapere che per una transizione completa serviranno ancora molti decenni aiuta a capire le ragioni dietro a diverse decisioni di politica energetica e ambientale, pessime negli Stati Uniti come nel resto del mondo. Non abbiamo bisogno di seguire mode passeggere dettate da desideri irrealizzabili, ma di programmi a lungo termine basati su prospettive realistiche, e invece di vincolarci con impegni avventati e basati su idee mediocri dovremmo compiere scelte da non rimpiangere in futuro.

Per raggiungere questo obiettivo possiamo anzitutto evitare di scegliere in modo aprioristico un vincitore della corsa all'energia. I governi non possono prevedere quale campo di ricerca o attività di sviluppo, seppur promettente, conquisterà per primo il libero mercato, e quindi non devono continuare a scegliere un vincitore apparente solo per abbandonarlo quando questo sarà scalzato dalla prossima moda (ricordate i reattori autofertilizzanti a neutroni veloci o le automobili alimentate con pile all'idrogeno?). La strategia migliore è investire su un ampio numero di linee di ricerca differenti: nel 1980 chi avrebbe mai immaginato che, nei trent'anni seguenti, gli investimenti federali più redditizi nel campo delle innovazioni energetiche non sarebbero stati quelli sui reattori nucleari o sulle celle fotovoltaiche, ma quelli sulle trivellazioni orizzontali e sulla fratturazione idraulica (*fracking*) dei giacimenti di scisto?

I governi, inoltre, non dovrebbero offrire incentivi maggiori o garanzie sul prestito a quelle società che si tuffano a capofitto sull'ultima moda energetica: non dovrebbero, insomma, ripetere quanto successo con Solyndra, un'azienda produttrice di impianti solari fotovoltaici che ha ricevuto dal governo statunitense fondi per 535 milioni di dollari solo per poi andare in bancarotta. Per accelerare la transizione a nuove fonti di energia i sussidi vanno distribuiti secondo valutazioni realistiche e garantendo un impegno costante, non sperperati saltando da una soluzione «esagerata» a un'altra.

Nel frattempo il prezzo di ogni forma di energia dovrebbe riflettere nel modo più realistico possibile il suo costo reale, che include l'impatto della sua produzione, a breve e a lungo termine, sull'ambiente e sulla salute. Parlare di impatto significa considerare un'ampia serie di effetti che vanno dall'emissione di gas serra e particolato dovuti alla combustione dei combustibili fossili all'erosione del suolo, agli scarichi di azoto e alla riduzione delle scorte idriche causati dalla coltivazione di mais per la produzione di etanolo, fino al costo di super reti elettriche ad alta tensione per collegare i grandi impianti per la produzione di energia eolica e solare. Si tratta di fare i conti con la realtà per capire quali siano i reali vantaggi a lungo termine delle diverse fonti energetiche.

La soluzione principale per accelerare la graduale transizione alle energie rinnovabili è ridurre il consumo energetico globale migliorando l'efficienza energetica

Lo strumento più importante per accelerare la graduale transizione alle energie rinnovabili resta però la riduzione del consumo energetico globale. Riuscire a coprire un'ampia frazione della domanda mondiale di energia è tanto più complicato quanto più è rapida la sua crescita. Studi recenti hanno mostrato che non esistono scogli tecnici insuperabili che impediscono di ridurre di un terzo il consumo energetico, sia nei paesi ricchi sia nel mondo in via sviluppo, solo attraverso un miglioramento dell'efficienza energetica. Riducendo la domanda potremmo mandare in pensione le vecchie fonti fossili di energia. I popoli e i politici delle nazioni benestanti dovrebbero anche capire che, sebbene sia cresciuto, nell'ultimo mezzo secolo il prezzo dell'energia è stato, in termini storici, straordinariamente basso. I paesi ricchi dovrebbero contribuire in maniera maggiore, per rendere conto in modo appropriato delle conseguenze della produzione di energia, sia ambientali sia per la salute.

Le transizioni energetiche, che avvengano a livello nazionale o globale, sono per loro natura destinate a protrarsi nel tempo. L'attuale sostituzione dei combustibili fossili con fonti energetiche rinnovabili non fa eccezione: richiederà l'impegno e la perseveranza di diverse generazioni. ■

PER APPROFONDIRE

Energy Transitions: History, Requirements, Prospects. Smil V., Praeger, 2010.

Monthly Energy Review. U.S. Energy Information Administration. **www.eia.gov/mer**.

The Future of Energy: Earth, Wind and Fire. E-book di «Scientific American», scaricabile all'indirizzo **http://books.scientificamerican.com/sa-ebooks**.

Verso un'energia sostenibile entro il 2030. Jacobson M. e Delucchi M., in «Le Scienze» n. 496, dicembre 2009.

Imbrigliare il vento. Castelvecchi D., in «Le Scienze» n. 525, maggio 2012.

Una strategia esotica per domare il cancro

Nei tumori, le cellule e una sostanza densa chiamata matrice possono comprimere i vasi sanguigni e impedire l'ingresso dei farmaci. I ricercatori però potrebbero aver scoperto una nuova strategia con cui aprire i vasi sanguigni e ripristinare l'efficacia delle terapie

di Rakesh K. Jain

Illustrazione di Brian Stauffer

Rakesh K. Jain è *Andrew Werk Cook Professor* di biologia dei tumori e direttore dell'Edwin L. Steele Laboratory for Tumor Biology al Dipartimento di radiologia oncologica del Massachusetts General Hospital e dellaHarvard Medical School. È membro della National Academy of Sciences, della National Academy of Engineering e dell'Institute of Medicine, la sezione di medicina della National Academy of Sciences.

Sono quarant'anni che combatto il cancro da una prospettiva insolita. Di formazione sono un ingegnere, e considero i tumori in parte come una sfida che riguarda la fisica, quindi mi chiedo: in che modo le loro caratteristiche strutturali promuovono la loro crescita impedendo ai farmaci antitumorali di funzionare efficacemente?

Più di vent'anni fa, con i miei collaboratori dell'epoca alla Carnegie Mellon University, scoprimmo che anomalie strutturali dei vasi sanguigni tumorali interferiscono con il trasporto mirato dei farmaci alle cellule maligne di una massa tumorale. I vasi sanguigni dei tumori tendono a essere eccessivamente contorti e porosi, e la porosità causa una perdita di fluidi e di farmaci trasportati nel sangue una volta che il sangue stesso entra nella massa tumorale. A quel punto il fluido esercita una pressione verso l'esterno, che ne provoca l'uscita dal tumore insieme alle molecole di farmaco, e lo porta a invadere il tessuto circostante. In seguito dimostrammo anche che riducendo le perdite vascolari era possibile limitare questa cosiddetta pressione interstiziale del fluido e migliorare la distribuzione del farmaco nel tumore, aumentando così le risposte a varie terapie pensate per attaccare le cellule tumorali.

Più di recente abbiamo dimostrato che la pressione del fluido non è l'unica forza fisica problematica in azione. I tumori sono un miscuglio di cellule maligne e sane, sangue e vasi sanguigni, il tutto inglobato in un materiale di natura fibrosa chiamato matrice extracellulare. I solidi, cioè matrice e cellule, possono comprimere linfa e vasi sanguigni. Questa compressione, che fisici e ingegneri chiamano stress meccanico, potrebbe ridurre o bloccare il flusso sanguigno diretto verso molte parti della massa tumorale e questo, a sua volta, potrebbe impedire il trasporto mirato del farmaco e creare anche condizioni che favoriscono la progressione del tumore. Allo stesso tempo la matrice, che nei tumori mostra una rigidità anomala e che in alcune forme di cancro è più abbondante rispetto ad altre, può impedire direttamente la diffusione di farmaci anticancro attraverso la massa tumorale.

Conoscendo i ruoli preoccupanti svolti dalla matrice tumorale, ultimamente con i miei colleghi abbiamo cercato il modo di ridurla. E alla fine abbiamo trovato un approccio che ci soddisfa, anche perché è basato su una classe di farmaci che già sappiamo essere sicuri e ampiamente prescritti per l'ipertensione. Attualmente sono in corso studi sull'uomo per testare questo trattamento in una forma di cancro al pancreas che è fra i tumori più ricchi di matrice e fra i più difficili da curare.

Certo, non possiamo promettere che farmaci in grado di ridurre la matrice si dimostreranno rivoluzionari. Il cancro in realtà è tante malattie diverse, tutte molto subdole. Ma se i farmaci funzioneranno come speriamo potrebbero diventare un nuovo, potente alleato nella lotta per prolungare la vita di persone colpite da tumori che troppo spesso resistono all'eliminazione.

Sotto la cappa

Ho iniziato a pensare a come interferire con la matrice dopo aver capito che la compressione di vasi sanguigni e vasi linfatici nei tumori causa un insieme sorprendente di effetti problematici. In genere i vasi linfatici rimuovono l'eccesso di fluidi dai tumori e da altri tessuti. Quando i vasi linfatici di una massa tumorale

IN BREVE

In un tumore, le cellule e un materiale chiamato matrice possono comprimere i vasi sanguigni fino a chiuderli, impedendo loro di trasportare i farmaci antitumorali a molte parti della massa tumorale. La matrice può anche ritardare direttamente la dispersione degli agenti anticancro nel tumore. **La compressione dei vasi** sanguigni può, inoltre, privare i tumori di ossigeno, un evento in grado di aumentare l'aggressività delle cellule tumorali.

I test condotti sui topi indicano che ridurre la matrice con un farmaco già usato per controllare la pressione del sangue può migliorare la perfusione dei farmaci anticancro nel tumore, aumentando i tassi di sopravvivenza.

Questo farmaco è ora in fase di test sull'uomo, e i ricercatori stanno cercando di trovare un principio attivo in grado di ridurre in modo più efficace la matrice, senza però ridurre troppo la pressione del sangue.

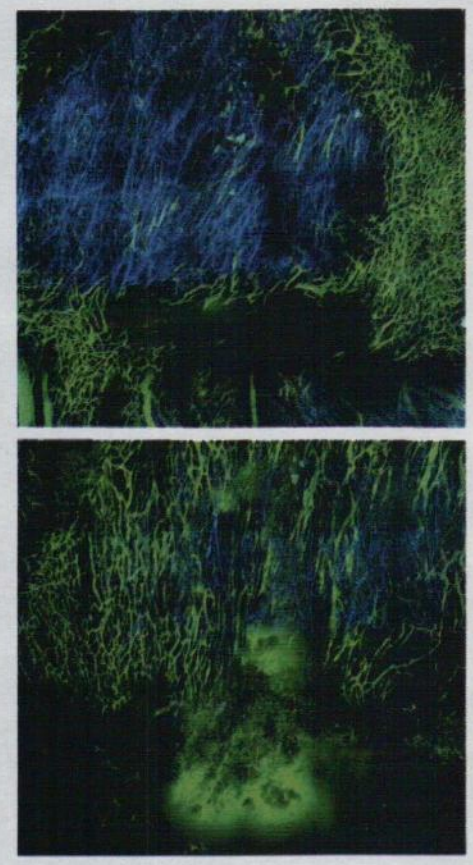
vengono compressi e ostruiti non possono più drenare il liquido che esce dai vasi sanguigni tumorali, e la pressione del fluido aumenta. Nel frattempo la pressione riduce la capacità, già compromessa, dei vasi sanguigni di far circolare il sangue attraverso la massa maligna – e quindi anche ossigeno, cellule immunitarie che aggrediscono il tumore e farmaci anticancro – e lascia molte zone a corto di ossigeno.

Questa carenza di ossigeno, o ipossia, potrebbe sembrare una cosa positiva, bloccando la capacità di crescita del tumore. In realtà però può essere nefasta. La carenza di ossigeno può stimolare cellule maligne e normali a produrre proteine che sopprimono l'attività delle cellule immunitarie che combattono il cancro. Una di queste proteine, il fattore di crescita dell'endotelio vascolare, o VEGF, incrementa anche le perdite da parte dei vasi sanguigni, riducendo ulteriormente il flusso del sangue nei tumori e aumentando la pressione del fluido. L'ipossia, inoltre, trasforma alcune cellule del sistema immunitario da nemici a complici del tumore.

Ma non è tutto. L'ipossia favorisce la sopravvivenza di un maggior numero di cellule maligne (quelle più abili a invadere i tessuti e a diffondersi) rispetto alle meno maligne, perché le cellule meno pericolose tendono a suicidarsi quando l'ossigeno scarseggia. Quel che è peggio, una carenza di ossigeno può aumentare la tendenza all'invasività delle cellule tumorali inducendole, per esempio, a produrre proteine che le aiutano ad allontanarsi dalla massa originaria. E la scarsità di ossigeno pregiudica l'azione di molti farmaci anticancro.

La matrice causa problemi anche senza coinvolgere la privazione di ossigeno e la ridotta diffusione di farmaci. Con i miei colleghi abbiamo scoperto che la compressione meccanica può riprogrammare alcune cellule tumorali trasformandole in *leader* che sostanzialmente iniziano a dirigersi verso i tessuti adiacenti inducendo altre cellule a seguirle. Inoltre, in un circolo vizioso, tanto la compressione quanto l'ipossia possono aumentare l'attività di cellule dedicate alla produzione di matrice, come i fibroblasti, e possono stimolare certe cellule tumorali a produrre componenti della matrice anche se le versioni non maligne di queste cellule non partecipano alla produzione di matrice.

Il mio gruppo aveva capito le conseguenze dell'ipossia ancora prima di iniziare a lavorare sulla matrice, e trovare il modo di ridurla era diventata una nostra priorità. Circa 13 anni fa avevamo proposto che «normalizzare» i vasi sanguigni, cioè renderli meno contorti e meno permeabili, avrebbe aumentato la perfusione sanguigna attraverso il tumore e ridotto la pressione del fluido, riducendo così l'ipossia e i suoi effetti e facilitando il trasporto di farmaci e di cellule immunitarie. Ora abbiamo prove convincenti a sostegno di questa ipotesi negli animali e nell'uomo. Abbiamo mostrato che il ripristino di un certo grado di normalità nei vasi sanguigni, che può essere ottenuto con sostanze che inibiscono la formazione di nuovi vasi sanguigni (farmaci antiangiogenici), è accompagnato da un incremento di flusso sanguigno e diffusione di ossigeno nei tumori cerebrali e può aumentare la sopravvivenza di qualche paziente. Questo meccanismo spiega anche il tasso di sopravvivenza più elevato osservato in pazienti con tumore a colon, polmone e reni che abbiano ricevuto il farmaco antiangiogenico bevacizumab insieme a farmaci chemioterapici (che uccidono le cellule tumorali in rapida divisione) o immunoterapici (che aumentano la risposta immunitaria dell'organismo contro i tumori).



La matrice (*in blu*) di un tumore murino è diminuita (*dall'alto verso il basso*), e il flusso del sangue è aumentato (*in verde al centro*), in risposta a una molecola studiata proprio per ridurne il volume. In ricerche condotte su altri modelli animali questi cambiamenti hanno migliorato l'efficacia dei farmaci antitumorali.

I ricercatori continuano a ottimizzare l'approccio, ma da solo non sarà mai sufficiente, perché non è la pressione del fluido a comprimere i vasi sanguigni e linfatici nei tumori: i responsabili sono matrice e cellule. Quando la pressione del fluido aumenta attorno ai vasi porosi, il fluido fluisce indietro attraverso i pori invece di far collassare i vasi (*si veda il box a p. 56*). E i farmaci antiangiogenici non possono aprire vasi ostruiti da matrice e cellule. Qui entra in gioco il nostro lavoro sulla riduzione della matrice e quindi dello stress meccanico da compressione.

Prima di cercare farmaci che potessero ridurre la matrice volevamo un'idea più precisa delle differenze fra tumori diversi riguardo a quantità di materiale ed entità dello stress esercitata dalle componenti solide. Abbiamo scoperto che i tumori sono eterogenei rispetto a questi due parametri, anche se l'esame microscopico su masse tumorali umane ha mostrato che la maggior parte conteneva vasi collassati.

L'entità del collasso dipende anche dallo stadio in cui si trova il tumore e da dove si trova. Confinato in uno spazio, per esempio, aumenterà lo stress da compressione e il numero di vasi parzialmente o totalmente collassati. Anche il tipo di tumore ha un ruolo. Per esempio la forma più comune di tumore pancreatico (l'adenocarcinoma duttale) ha in genere un numero relativamente piccolo di cellule tumorali, che costituiscono meno del 5 per cento della massa; inoltre contiene una gran quantità di matrice e di fibroblasti. Altri tumori, come il medulloblastoma, il tumore cerebrale più comune in età pediatrica, hanno meno matrice. Ulteriori ricerche hanno mostrato che i tumori con un elevato rapporto di matrice e fibroblasti rispetto alle cellule tumorali, chiamati tumori desmoplastici, rispondono meno ai farmaci. Questo suggerisce che, riducendo la quantità di matrice in queste masse cancerose, i farmaci dovrebbero avere più probabilità di raggiungere i bersagli e di conseguenza di funzionare meglio del solito.

Da *Angiotensin Inhibition Enhances Drug Delivery and Potentiates Chemotherapy by Decompressing Tumor Blood Vessels*, di Vikash P. Chauhan e altri, in «Nature Communications», Vol. 4, articolo n. 2516, 1° ottobre 2013

Primi test

I tentativi iniziali del mio gruppo di trovare molecole in grado di ridurre la matrice ai minimi termini sono stati aiutati da una scoperta casuale. La matrice è fatta di fibre proteiche (principalmente formate da collagene) e composti simili a gel, come l'acido ialuronico. Un tempo i ricercatori ipotizzavano per le molecole simili a gel un ruolo di interferenza più importante rispetto a quello del collagene nella diffusione dei farmaci in un tumore.

Nel 2000 invece abbiamo scoperto che è più importante la rigidità del tessuto, che dipende dalla quantità di collagene contenuto. Abbiamo anche scoperto che la rottura delle fibre di collagene con un enzima specifico, chiamato appunto collagenasi, aumentava considerevolmente la diffusione di una particella di 150 nanometri ideata per sostituire un farmaco, addirittura nei tumori che mostravano la resistenza più elevata alla penetrazione. (Abbiamo testato particelle di quelle dimensioni usandole al posto di farmaci di dimensioni nanometriche, che sempre più spesso vengono studiati come possibili *killer* di specifiche cellule tumorali, ma che finora hanno ottenuto solo un modesto successo). In seguito a questa scoperta abbiamo dimostrato che alcuni tumori dei topi diminuivano maggiormente di volume con l'iniezione nella massa tumorale di collagenasi e particelle virali di 150 nanometri ideate per uccidere cellule cancerose rispetto all'iniezione delle sole particelle virali.

Per quanto fosse un risultato interessante, sapevamo che l'uso di un enzima capace di degradare il collagene in tutto l'organismo poteva essere problematico nell'uomo: il collagene sostiene ossa e tessuti. Avevamo bisogno di un farmaco più sicuro che funzionasse nei tumori senza produrre effetti diffusi. Ma quale?

Abbiamo subito considerato un ormone chiamato relaxina, che le donne producono durante la gravidanza. La relaxina inibisce la sintesi del collagene e ne aumenta la degradazione, tanto che le future madri la producono in grandi quantità senza effetti collaterali. Quindi ci siamo domandati se poteva essere usata per ridurre il collagene nei tumori.

Nel 2002 abbiamo trattato topi malati di tumore con relaxina per due settimane. Questa molecola ha riorganizzato il collagene rendendolo più poroso e ha aumentato la dispersione attraverso i tumori di grandi molecole che usavamo come sostituti di farmaci. Anche altri ricercatori hanno confermato le nostre scoperte con tumori diversi. A quel punto però abbiamo saputo di esperimenti in cui la relaxina aumentava la progressione di alcuni tumori, per esempio quelli prostatici. Data la disparità di risultati e il rischio che ne derivava abbiamo capito che non avremmo potuto testare questo farmaco in terapie destinate all'uomo.

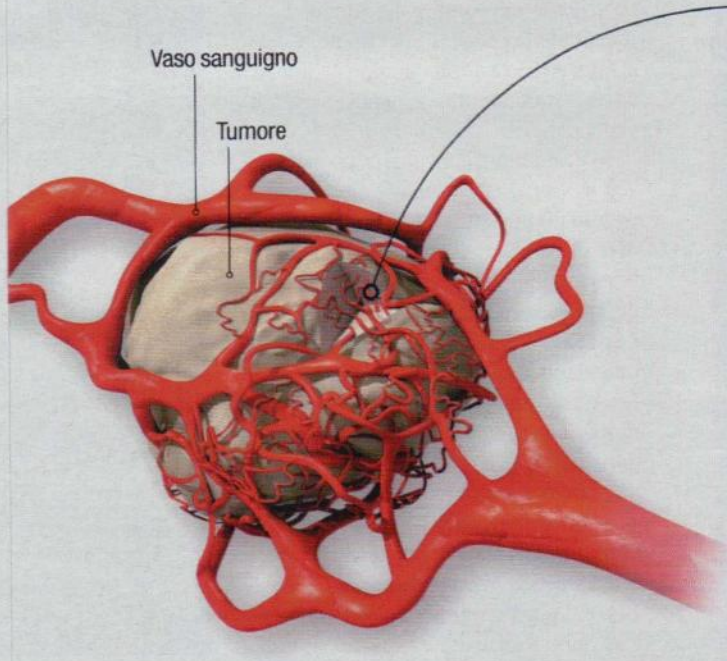
Finalmente un colpo di fortuna

Delusi, abbiamo cercato altre molecole attive e ci siamo concentrati sull'attacco a una sostanza chiave coinvolta nella sintesi di collagene. Si tratta di una proteina chiamata fattore di crescita trasformante beta. Abbiamo trovato un modo per ottenere quello che volevamo quando abbiamo capito che una classe di farmaci usati per trattare l'ipertensione non solo riduceva la pressione del sangue ma, effetto per noi molto utile, inibiva anche l'attività del fattore di crescita. Inoltre questi farmaci, ampiamente prescritti e noti come bloccanti dell'angiotensina II, ostacolavano la funzione di una seconda molecola coinvolta nella stabilizzazione del collagene. Sapevamo che un certo numero di bloccanti dell'angiotensina, incluso un farmaco chiamato losartan, riducono la concentrazione di forme differenti di collagene in modelli animali che producono eccessive quantità di matrice extracellulare, e possono ridurre un simile eccesso nei reni e nel cuore di pazienti con ipertensione. Tuttavia non avevamo trovato nessuna ricerca pubblicata su riviste scientifiche che esaminasse gli effetti di questi farmaci sui livelli di collagene o sullo stress da compressione nei tumori.

Per capire se i bloccanti dell'angiotensina possono ridurre la quantità di matrice nei tumori, migliorando la diffusione dei farmaci che aggrediscono le cellule maligne, abbiamo trattato per due settimane con losartan topi con quattro diversi tipi di tumore ricchi di matrice: adenocarcinoma pancreatico duttale, tumore della mammella, melanoma (un tumore della pelle) e sarcoma (un tumore che emerge nel tessuto connettivo). Abbiamo notato due effetti incoraggianti. Il collagene nei tumori diminuiva, e le particelle da 100 nanometri usate come test per farmaci contro le cellule tumorali si diffondevano più del solito nella massa ma-

Forze con cui si devono fare i conti

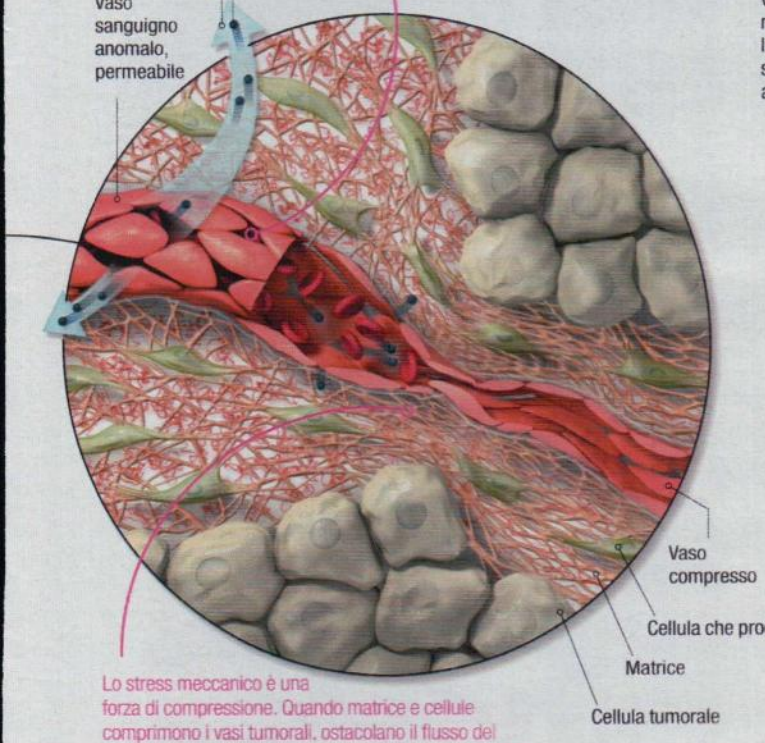
In teoria, farmaci anticancro che viaggiano nel flusso sanguigno dovrebbero diffondersi ovunque nella massa maligna e aggredire tutte le sue cellule. Tuttavia le forze esercitate dai fluidi e dalla parte solida nel tumore, incluse la pressione del fluido e lo stress meccanico, possono essere abbastanza intense da impedire ai farmaci di raggiungere molte cellule che dovrebbero uccidere (*a destra*). I ricercatori in campo tumorale hanno già a disposizione farmaci che possono aiutare a ridurre la pressione del fluido. E oggi, come spiega l'autore in questo articolo, ritengono di avere a disposizione un modo per ridurre anche lo stress meccanico esercitato da matrice e cellule.



Illustrazioni di Emily Cooper

Le barriere

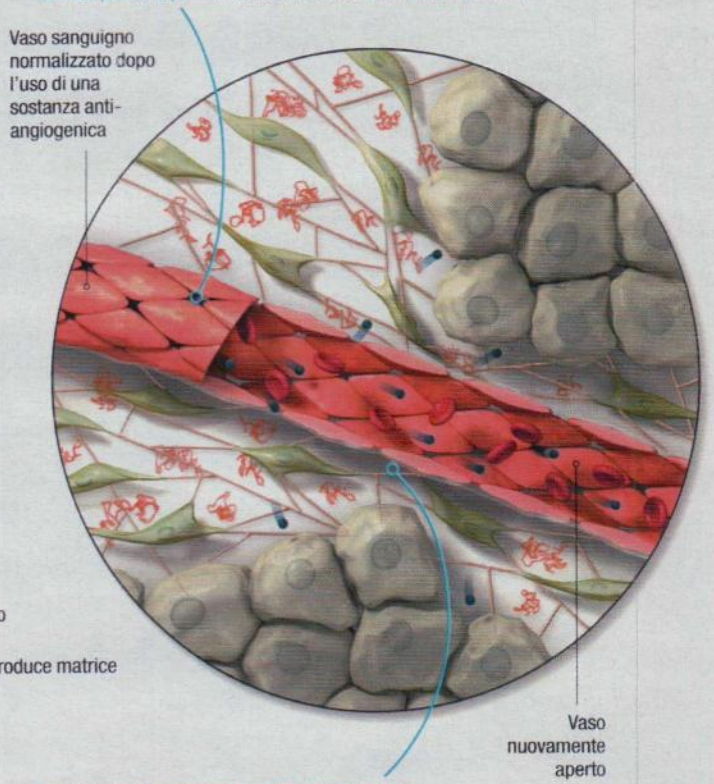
La pressione esercitata dal fluido è spesso elevata, perché i vasi sanguigni tumorali mostrano di solito una porosità anomala. Quando il sangue entra nel tumore, il fluido e molte molecole di farmaci escono dai pori. Quindi il fluido preme verso l'esterno, passando dal tumore ai tessuti circostanti e portandosi dietro il farmaco.



Lo stress meccanico è una forza di compressione. Quando matrice e cellule comprimono i vasi tumorali, ostacolano il flusso del sangue e quindi impediscono ai farmaci antitumorali di raggiungere cellule maligne oltre la regione compressa. Allo stesso tempo la matrice può intrappolare molecole di farmaci limitando ulteriormente la loro diffusione in una massa. La compressione dei vasi sanguigni può anche affamare i tumori, privandoli dell'ossigeno necessario, e questo può promuovere la diffusione del tumore stesso ostacolando la risposta immunitaria nei suoi confronti (*non mostrato*).

Soluzioni

Farmaci con attività antiangiogenica possono ridurre la pressione del fluido, e sono stati usati nelle terapie del cancro per circa dieci anni. Sono noti soprattutto per la loro capacità di inibire la formazione di nuovi vasi tumorali. Ma possono anche «normalizzare» i vasi sanguigni, rendendoli meno permeabili, in modo che esca una minore quantità di fluido e che i farmaci possano penetrare ulteriormente nella massa tumorale.



Le molecole che riducono il volume della matrice riescono a ridurre lo stress meccanico nei topi, aumentando così il flusso sanguigno del tumore e la dispersione dei farmaci anticancro. Fra le molecole che riducono la matrice c'è anche un comune farmaco anti-ipertensivo, che oggi è testato in pazienti con tumore al pancreas per capire se riesce a migliorare l'efficacia dei farmaci che combattono il cancro.

ligna. Abbiamo concluso che la migliore penetrazione delle particelle usate come test avveniva grazie alla riduzione del contenuto in collagene. Studi successivi sui roditori pubblicati nel 2011 hanno dato gli stessi risultati con nanofarmaci: il Doxil (circa 100 nanometri di diametro) approvato dalla Food and Drug Administration e particelle virali (circa 150 nanometri) che uccidono le cellule tumorali.

Durante le nostre ricerche abbiamo anche scoperto che tanto più aumentava la dose di losartan tanto più diminuiva il collagene. Questa dipendenza dalla dose è un buon segnale del fatto che il farmaco provoca proprio l'effetto osservato. La scoperta implicava anche che dosi di losartan maggiori di quelle testate in precedenza avrebbero potuto ridurre il collagene al punto che i vasi sanguigni di tumori ricchi in matrice si sarebbero aperti abbastanza da permettere il passaggio ai farmaci antitumorali e avrebbero raggiunto anche aree della massa tumorale che in precedenza non ricevevano sangue. In effetti nei topi una dose doppia di farmaco riduceva il collagene nei tumori mammari e pancreatici ricchi di matrice, apriva i vasi sanguigni e migliorava il trasporto e l'efficacia non soltanto dei nanofarmaci, ma anche dei chemioterapici standard usati normalmente per curare queste forme di tumore.

In seguito ci siamo chiesti se dosi sufficientemente elevate di losartan o di altri anti-ipertensivi avrebbero aumentato l'efficacia delle chemioterapie convenzionali e delle nanomedicine in esseri umani. Ancora non abbiamo una risposta definitiva, ma abbiamo buone ragioni per essere ottimisti. Revisioni di ricerche che erano state effettuate in passato e avevano coinvolto persone malate di cancro e ipertese, dunque pazienti che avevano ricevuto una terapia anticancro e farmaci anti-ipertensivi, hanno suggerito che alcune molecole anti-ipertensione possano migliorare in qualche modo i risultati. Per esempio un'analisi effettuata su ricerche pre-

Perché solo i solidi comprimono i vasi tumorali

Spesso ci si stupisce nell'apprendere che solo la matrice e le cellule nei tumori comprimono i vasi sanguigni fino a ostruirli; l'accumulo di fluido non ha un ruolo in questo effetto. All'autore piace spiegare la fisica di questo fenomeno usando l'analogia con una bottiglia di plastica nell'oceano.

cedenti ha indicato che in combinazione con gemcitabina, un noto antitumorale, i bloccanti dell'angiotensina o di enzimi correlati hanno aumentato di circa sei mesi la sopravvivenza generale in pazienti con adenocarcinoma pancreatico duttale, rispetto alla sopravvivenza che si otteneva con il solo chemioterapico.

Ovviamente gli studi retrospettivi hanno i loro limiti, tuttavia i dati ottenuti su pazienti curati anche per ipertensione sono coerenti con quello che abbiamo scoperto nei topi, e forniscono una base scientifica con cui testare i bloccanti dell'angiotensina come possibili agenti antimatrice anche nell'uomo. Di conseguenza un gruppo di ricercatori del Massachusetts General Hospital ha avviato un trial di losartan con chemioterapia standard su pazienti con adenocarcinoma pancreatico duttale, che mostra un tasso di sopravvivenza a cinque anni inferiore al 6 per cento. (Io non sono coinvolto in questo trial). I risultati potrebbero essere disponibili in un paio d'anni. In futuro, se tutto andrà per il meglio, credo che miglioreremo la cura dei pazienti grazie a una combinazione di terapie a base di farmaci che normalizzano i vasi sanguigni (come i bloccanti del VEGF), che distruggono la matrice e uccidono selettivamente le cellule tumorali.

Come accade per la maggior parte dei farmaci, anche gli anti-ipertensivi hanno i loro svantaggi. Per esempio non possono essere somministrati alle persone affette da alcune patologie renali o a chi soffre di bassa pressione. Le dosi devono essere attentamente controllate anche nel caso di pazienti con pressione normale, per evitare gravi cali di pressione. Questi problemi potrebbero essere affrontati andando alla ricerca di strategie con cui modificare gli agenti bloccanti dell'angiotensina e facendo in modo che mantengano la capacità di ridurre la quantità di matrice senza però abbassare anche la pressione sanguigna. Con i miei colleghi inseguiamo proprio questo obiettivo. Tuttavia i tumori tendono a sviluppare resistenza verso la maggior parte dei farmaci, e ancora non sappiamo se svilupperanno resistenza al losartan o ad altri bloccanti dell'angiotensina.

Le alternative

Che dire dei pazienti che non possono prendere farmaci antiipertensivi, o i cui tumori non rispondono bene o in maniera continua a questi farmaci? Un altro modo di aggredire la matrice potrebbe consistere nel colpire in maniera specifica le molecole non

Fonte: Lance L. Munn, Edwin L. Steele Laboratory for Tumor Biology, Harvard Medical School e Massachusetts General Hospital

Per migliorare le cure, i ricercatori devono acquisire non solo una migliore conoscenza della genetica alla base dello sviluppo del cancro, ma anche prendere in considerazione le forze fisiche che agiscono nei tumori

fibrose di acido ialuronico che si trovano nei tumori. L'acido ialuronico è abbondante in circa il 25 per cento dei tumori umani, come l'adenocarcinoma pancreatico duttale, il tumore della mammella, del colon e della prostata. Di recente abbiamo dimostrato che un enzima che scinde l'acido ialuronico, una ialuronidasi, può ridurre lo stress meccanico nei tumori che si sviluppano nei topi. Abbiamo anche dimostrato che il losartan può ridurre l'acido ialuronico nei tumori. Altri ricercatori hanno dimostrato che una ialuronidasi può decomprimere i vasi sanguigni. Sulla base di studi più recenti, attualmente è in fase di trial clinico per il tumore del pancreas una formulazione dell'enzima chiamata PEGPH20. Noi e altri gruppi di ricerca abbiamo anche ottenuto un certo successo in laboratorio con altri farmaci, conosciuti per la loro parziale azione anche sulla matrice.

Per perfezionare terapie che distruggano la matrice, i ricercatori devono trovare il modo di misurarne la risposta ai diversi agenti testati. Le sostanze che distruggono la matrice del tumore riducono effettivamente la compressione meccanica? Quali sono le più efficaci? E ancora: l'entità della riduzione è determinante per garantire il successo di farmaci antitumorali più tradizionali usati in combinazione? Anche su questo fronte si stanno compiendo progressi. Un nuovo metodo di indagine ottica, chiamato microscopia a generazione di seconda armonica, dovrebbe aiutare i ricercatori a osservare e a misurare il collagene nei tumori. Inoltre con i miei colleghi abbiamo trovato un modo relativamente semplice per misurare lo stress da compressione in un tumore: quando un tumore viene sezionato in due, le due metà si gonfiano spontaneamente. Misurare il rigonfiamento e applicare formule matematiche messe a punto dal mio gruppo rivela la quantità di stress a cui era sottoposto l'interno del tumore.

A volte mi viene chiesto se la riduzione della matrice non potrebbe facilitare il processo di metastatizzazione da parte delle cellule tumorali, cioè la capacità delle cellule di spostarsi attraverso la matrice verso il sangue e i vasi sanguigni, e quindi fuori in altri organi o in altri tessuti. Analogamente molti si domandano se digerire la matrice o, in alternativa, aprire i vasi sanguigni e incrementare il flusso ematico attraverso un tumore non potrebbe favorire l'ingresso delle cellule tumorali nel flusso sanguigno, o promuovere la crescita tumorale trasportando una maggior quantità di nutrienti fino alle cellule tumorali, o entrambe le cose.

Questi timori necessitano di ulteriori ricerche; tuttavia diverse osservazioni suggeriscono che le terapie in grado di alleviare lo stress da compressione e di normalizzare i vasi sanguigni non dovrebbero promuovere la crescita tumorale e la metastasi. Perché? Da una parte è vero che i nutrienti dovrebbero raggiungere le cellule tumorali, che sarebbero anche più libere di spostarsi; dall'altra la perdita di ossigeno che promuove la progressione del tumore pregiudica la risposta immunitaria e riduce l'efficacia di molte terapie sarebbe ridotta. Inoltre, fuori dal tumore e nei vasi sanguigni normalizzati e più aperti si diffonderebbero quantità maggiori di farmaci e un numero potenzialmente maggiore di cellule immunitarie per contrastare qualsiasi effetto favorevole al tumore da parte della terapia. Studi in corso su animali e sull'uomo dimostreranno quale di questi effetti è più potente.

Seguire la logica

All'epoca in cui i miei colleghi e io abbiamo considerato l'uso degli inibitori dell'angiotensina per combattere il cancro, altri scienziati che avevamo consultato ci avevano suggerito di non seguire questa linea di ricerca. Dato che questi farmaci riducono la pressione del sangue, era il ragionamento, avrebbero provocato una riduzione del flusso sanguigno tumorale, non un aumento. Inoltre studi con l'angiotensina, che contrariamente ai bloccanti dell'angiotensina fa aumentare la pressione del sangue, avevano osservato un flusso sanguigno maggiore in molti esperimenti sui topi e sull'uomo. Quei lavori, però, non consideravano gli effetti di compressione della matrice, e un trial mirato a verificare l'efficacia della terapia a base di angiotensina per la cura del cancro su pazienti umani era fallito. Alcuni anni dopo siamo riusciti a spiegare il motivo di quel fallimento: il farmaco aumentava il flusso del sangue solo temporaneamente, forse perché lo stress da compressione chiudeva rapidamente i vasi sanguigni interessati.

Guardando al futuro, dovremo capire meglio non solo la genetica e la biologia cellulare alla base alla formazione del tumore, ma anche considerare le conseguenze delle forze fisiche che agiscono nei tumori. Dobbiamo sfruttare tutte queste conoscenze per capire le leggi che regolano la progressione tumorale e scoprire come fare per migliorare diagnosi e terapia del cancro. I tumori solidi usano forze fisiche per sopravvivere. È tempo di sfruttare la nostra conoscenza della fisica per passare al contrattacco. ■

Dichiarazione di interessi commerciali: *Rakesh K. Jain è stato uno dei fondatori, è azionista e siede nel consiglio di amministrazione di XTuit, azienda che sviluppa terapie anticancro. XTuit e Massachusetts General Hospital hanno depositato una richiesta di brevetto farmaceutico in base alle ricerche riassunte in questo articolo. Jain riceve fondi e compensi di consulenza da altre aziende coinvolte in studi sul cancro.*

PER APPROFONDIRE

Causes, Consequences and Remedies for Growth-Induced Solid Stress in Murine and Human Tumors. Stylianopoulos T. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 109, n. 38, pp. 15101-15108, 18 settembre 2012. **www.pnas.org/content/early/2012/08/28/1213353109.full.pdf.**

Normalizing Tumor Microenvironment to Treat Cancer: Bench to Bedside to Biomarkers. Jain R.K., in «Journal of Clinical Oncology», Vol. 31, n. 31, pp. 2205-2218, 10 giugno 2013.

Angiotensin Inhibition Enhances Drug Delivery and Potentiates Chemotherapy by Decompressing Tumor Blood Vessels. Chauhan V.P. e altri, in «Nature Communications», Vol. 4, articolo n. 2516, 1° ottobre 2013. **www.nature.com/ncomms/2013/131001/ncomms3516/pdf/ncomms3516.pdf.**

Per saperne di più riguardo al trial clinico sul consumo di matrice che è effettuato da specialisti del Massachusetts General Hospital: **http://clinicaltrials.gov/show/NCT01821729.**

Il laboratorio di Rakesh K. Jain: **http://steele.mgh.harvard.edu.**

Barriere al trasporto di farmaci nei tumori solidi. Jain R.K., in «Le Scienze» n. 313, settembre 1994.

Le arterie della vita e della morte. Jain R.K. e Carmeliet P.F., in «Le Scienze» n. 401, gennaio 2002.

Angiogenesi e cancro. Jain R.K., in «Le Scienze» n. 476, aprile 2008.

Non c'è nulla di cui stupirsi quando avvengono eventi apparentemente improbabili, miracolosi, straordinari. Anche nel caso in cui gli stessi sei numeri risultano vincenti alla lotteria due volte di seguito

di David J. Hand

Mai dire mai

Un insieme di leggi matematiche che io chiamo il principio di improbabilità ci dice che le coincidenze non devono stupirci, anzi, dovremmo aspettarci che capitino. Uno dei punti chiave del principio è la legge dei grandi numeri. Questa legge dice che, a patto di avere a disposizione abbastanza tentativi, ci si deve aspettare che uno specifico evento accada, indipendentemente da quanto l'evento possa essere improbabile nel singolo tentativo. A volte, però, anche se i tentativi sono davvero tanti, può sembrare che ce ne siano relativamente pochi. Questo equivoco conduce a sottostimare grossolanamente la probabilità di un evento: crediamo che qualcosa sia incredibilmente improbabile, mentre in realtà è molto probabile, o magari quasi certo.

Adattato da *The Improbability Principle: Why Coincidences, Miracles, and Rare Events Happen Every Day*, di David J. Hand, in accordo con Scientific American/Farrar, Straus & Giroux, LLC (Nord America), Transworld (Regno Unito), Ambo|Anthos (Paesi Bassi), C. H. Beck (Germania), Companhia das Letras (Brasile), Grupa Wydawnicza Foksal (Polonia), Locus Publishing Co. (Taiwan), AST (Russia). Copyright © by David J. Hand, 2014.

Illustrazione di Paul Blow

David J. Hand è professore emerito di matematica e *senior research investigator* all'Imperial College di Londra. È stato presidente della Royal Statistical Society ed è autore di *Statistica. Dati, numeri e l'interpretazione della realtà* (Codice, Torino, 2012)

Com'è possibile che il numero dei tentativi sia enorme senza che noi ce ne rendiamo conto? La legge delle combinazioni, un tassello del principio di improbabilità, ci indica la strada. Essa afferma che il numero delle combinazioni di elementi che interagiscono tra loro cresce esponenzialmente con il numero degli elementi. Un esempio molto noto è il «problema del compleanno».

Il problema del compleanno pone la seguente domanda: quante persone devono esserci in una stanza perché sia più probabile che almeno due di loro compiano gli anni lo stesso giorno che non il contrario? La risposta è: solo 23. Se ci sono 23 o più persone, è più facile che due persone abbiano lo stesso compleanno piuttosto che il contrario.

Se non avete mai incontrato il problema del compleanno, questo potrebbe sembrarvi sorprendente. Ventitré può sembrare un numero troppo piccolo. Forse avete ragionato così: c'è solo una possibilità su 365 che chiunque abbia il mio stesso compleanno. Quindi chiunque ha una probabilità di 364/365 di avere un compleanno diverso dal mio. Se ci sono n persone nella stanza, e ognuna delle altre $n-1$ ha una probabilità di 364/365 di avere un compleanno diverso dal mio, allora la probabilità che tutte e $n-1$ abbiano un compleanno diverso dal mio è 364/365 × 364/365 × 364/365 × 364/365 ×... 364/365, con 364/365 moltiplicato per se stesso $n-1$ volte. Se n è 23, fa 0,94.

Dato che questa è la probabilità che nessuno di loro abbia il mio stesso compleanno, la probabilità che almeno uno di loro ce l'abbia è 1 – 0,94 (questo deriva dal fatto che o qualcuno ha il mio stesso compleanno o nessuno ce l'ha, quindi la somma della probabilità dei due eventi deve essere 1). Ora: 1 – 0,94 = 0,06. È pochissimo.

Eppure questo ragionamento è sbagliato, perché quella probabilità – la probabilità che qualcuno abbia il vostro stesso compleanno – non è quello che il problema chiedeva. Chiedeva la probabilità che, comunque scelte due persone nella stanza, loro due abbiano lo stesso compleanno. Questa include la probabilità che uno degli altri sia nato il vostro stesso giorno, che è ciò che ho calcolato prima, ma anche la probabilità che due o più delle altre persone abbiano lo stesso compleanno, diverso dal vostro.

È qui che entrano in gioco le combinazioni. Mentre ci sono solo $n-1$ persone che potrebbero avere il vostro stesso compleanno, c'è un totale di $n \times (n-1)/2$ possibili coppie di persone nella stanza. Questo numero di coppie cresce rapidamente al crescere di n. Quando n è 23, fa 253, che è più di 10 volte $n-1 = 22$. Cioè, se ci sono 23 persone nella stanza ci sono 253 possibili coppie, ma voi fate parte solo di 22 di esse.

Ora vediamo la probabilità che nessuna delle 23 persone nella stanza abbia lo stesso compleanno. Per due persone, la probabilità che la seconda persona non abbia lo stesso compleanno della prima è 364/365. Poi la probabilità che i loro compleanni siano diversi tra loro e diversi dal compleanno del terzo è 364/365 × 363/365. Analogamente, la probabilità che quei tre abbiano compleanni diversi e che il quarto non abbia lo stesso compleanno di nessuno dei primi tre è 364/365 × 363/365 × 362/365. Continuando in questo modo, la probabilità che nessuna delle 23 persone abbia lo stesso compleanno di un'altra è 364/365 × 363/365 × 362/365 × 361/365 . . . × 343/365.

Fa 0,49. Dato che la probabilità che nessuna delle 23 persone abbia lo stesso compleanno di un'altra è 0,49, la probabilità che qualcuno abbia lo stesso compleanno di un altro è 1– 0,49, che è più della metà.

Vincere la lotteria

Per un altro esempio di come un evento apparentemente improbabile è in realtà molto probabile, pensiamo alle lotterie. Il 6 settembre 2009 la lotteria bulgara estrasse a caso i numeri vincenti 4, 15, 23, 24, 35, 42. Non c'è niente di strano in questi numeri. Le cifre che li compongono sono tutti valori bassi – 1, 2, 3, 4 o 5 – ma questo non è così insolito. In più, c'è una coppia di valori consecutivi, 23 e 24, sebbene questo accada molto più spesso di quanto in genere si stimi (se chiedete a qualcuno di scegliere sei numeri da 1 a 49, per esempio, sceglierà una coppia consecutiva meno spesso di quanto non accada per caso).

Quattro anni fa la lotteria statale israeliana ha estratto gli stessi sei numeri nel giro di poche settimane. Subito dopo molte persone hanno telefonato alle radio per denunciare il fatto che il concorso era truccato

L'evento sorprendente accadde quattro giorni dopo: il 10 settembre la lotteria bulgara selezionò a caso i numeri vincenti 4, 15, 23, 24, 35, 42: gli stessi della settimana precedente. L'evento provocò una specie di fenomeno mediatico. «Succede per la prima volta in 52 anni di storia della lotteria. Siamo assolutamente sconcertati da questa coincidenza bizzarra, ma è avvenuta», sono le parole di una portavoce citate da un articolo della Reuters del 18 settembre. L'allora ministro bulgaro dello sport Svilen Neykov

IN BREVE

Quelli che consideriamo eventi estremamente improbabili accadono in realtà continuamente attorno a noi. La legge matematica dei grandi numeri, come la legge delle combinazioni, aiuta a spiegare perché.

Con solo 23 persone in una stanza, la probabilità che due di esse abbiano lo stesso compleanno è 0,51, cioè maggiore del 50 per cento.

Il 6 settembre 2009 la lotteria bulgara ha estratto a caso i numeri vincenti 4, 15, 23, 24, 35, 42. Quattro giorni dopo ha estratto di nuovo gli stessi numeri. La lotteria Cash 5 in North Carolina ha estratto gli stessi numeri vincenti il 9 e l'11 luglio 2007. Strano? Non in base alla probabilità.

dispose l'apertura di un'inchiesta. Poteva trattarsi di una gigantesca frode? Possibile che i numeri precedenti fossero stati in qualche modo copiati?

In realtà, questa coincidenza così sorprendente era solo un altro esempio del principio di improbabilità, dettato dalla legge dei grandi numeri amplificata dalla legge delle combinazioni. Innanzitutto, nel mondo ci sono molte lotterie. Inoltre si svolgono una dopo l'altra, anno dopo anno. Questo fa sì che si sommi rapidamente un gran numero di casi possibili perché i numeri vincenti si ripetano. Infine entra in scena la legge delle combinazioni: ogni volta che il risultato di una lotteria viene estratto potrebbe contenere gli stessi numeri prodotti in una qualsiasi delle estrazioni precedenti. In generale, come nella situazione dei compleanni, se partecipi alla lotteria n volte ci sono $n \times (n - 1)/2$ coppie di estrazioni che potrebbero consistere nella stessa sequenza di numeri.

La lotteria bulgara che ripeté i numeri nel 2009 è una lotteria 6-su-49, e la probabilità che esca un particolare insieme di sei numeri è 1/ 13.983.816. Ciò significa che le probabilità che due particolari sequenze coincidano è 1/13.983.816. Ma che dire della probabilità che coincidano due qualsiasi sequenze su tre? O della probabilità che coincidano due qualsiasi sequenze su 50?

Ci sono tre possibili coppie su tre ruote, ma su 50 ruote ce ne sono 1225: interviene la legge delle combinazioni. Se procediamo, su 1000 ruote ci sono 499.500 possibili coppie. In altre parole, se moltiplichiamo il numero di ruote per 20, passando da 50 a 1000, l'impatto sul numero di coppie è molto più grande, dato che lo moltiplica per un fattore 408 e lo fa aumentare da 1225 a 499.500. Stiamo entrando nel regno dei grandi numeri.

Maureen Wilcox ha comprato biglietti con i numeri vincenti sia per la lotteria del Massachusetts, sia per quella del Rhode Island. Il biglietto per Massachusetts aveva i numeri vincenti per Rhode Island, e viceversa

Quante ruote ci vorrebbero perché la probabilità di estrarre gli stessi sei numeri due volte fosse maggiore di un mezzo, in modo che questo evento sia più probabile che improbabile? Usando lo stesso metodo che abbiamo usato per il problema del compleanno, si trova la risposta: 4404.

Se ogni settimana ci sono due estrazioni, il che significa 104 in un anno, per arrivare a questo numero di estrazioni ci vorrebbero meno di 43 anni. Questo vuol dire che dopo 43 anni è più probabile che due delle sequenze di sei numeri estratti dalla ruota coincidano esattamente rispetto al contrario. Questo getta una luce un diversa sul commento della portavoce bulgara che fosse una bizzarra coincidenza!

E questo è solo per una lotteria. Quando consideriamo il numero di lotterie in giro per il mondo, vediamo che sarebbe sorprendente se le estrazioni non si ripetessero ogni tanto. Dunque non vi sorprenderà sapere che nella lotteria statale israeliana Mifal Hapais, i numeri estratti il 16 ottobre 2010 – 13, 14, 26, 32, 33, 36 – erano esattamente gli stessi estratti poche settimane prima, il 21 settembre. Non sorprenderà voi, ma frotte di persone invasero i programmi radiofonici, telefonando per reclamare che la lotteria era truccata.

Il risultato della lotteria bulgara era insolito perché le sequenze identiche capitarono in estrazioni consecutive. Ma in base alla legge dei grandi numeri, insieme al fatto che ci sono molte lotterie nel mondo che regolarmente producono i loro numeri, non dovremmo essere poi così sorpresi, quindi non dovremmo meravigliarci sentendo che è successo già prima. Per esempio la lotteria Cash 5 in North Carolina produsse gli stessi numeri vincenti il 9 e l'11 luglio 2007.

Un altro modo, piuttosto frustrante, in cui la legge delle combinazioni può generare coincidenze nelle lotterie è illustrato da quanto accadde a Maureen Wilcox nel 1980. La donna comprò biglietti con i numeri vincenti sia per la Massachusetts State Lottery sia per la Rhode Island Lottery. Sfortunatamente per lei, però, il biglietto per la Massachusetts Lottery aveva i numeri vincenti per la Rhode Island Lottery, e viceversa. Se compri biglietti per 10 lotterie, hai 10 possibilità di vincere. Ma 10 biglietti significano 45 possibili coppie di biglietti, quindi la probabilità che uno dei 10 biglietti coincida con una delle 10 estrazioni è oltre quattro volte più grande della probabilità di vincere. Per ovvi motivi, questa non è la ricetta per vincere una fortuna, perché avere un biglietto per una lotteria con i numeri vincenti di un'altra non ti fa vincere niente, a parte il sospetto che l'universo si stia prendendo gioco di te.

La legge delle combinazioni si applica quando ci sono molte persone o molti oggetti che interagiscono tra loro. Supponete di avere una classe di 30 studenti. Possono interagire in vari modi. Possono lavorare da soli: ce ne sono 30; possono lavorare a coppie: ci sono 435 diverse possibili coppie; possono lavorare a gruppi di tre: ce ne sono 4060 possibili; e così via, finché, ovviamente, lavorano tutti insieme e allora c'è un unico insieme di 30 studenti che lavorano insieme.

In totale, il numero di diversi possibili gruppi di studenti che potrebbero formarsi è 1.073.741.823. È più di un miliardo, a partire da soli 30 studenti. In generale, se un insieme ha n elementi ci sono $2^n - 1$ possibili sottoinsiemi che si potrebbero formare. Se $n = 100$, il risultato è $2^{100} - 1$, che è circa uguale a 10^{30}, un numero indubbiamente grande.

Ma se 10^{30} non fosse abbastanza considerate le implicazioni del Web, che ha circa 2,5 miliardi di utenti, ognuno dei quali può interagire con ognuno degli altri. Questo dà 3×10^{18} coppie e $10^{750.000.000}$ possibili gruppi di membri che interagiscono. Anche eventi con probabilità molto basse diventano quasi certi, dando loro molte opportunità di accadere.

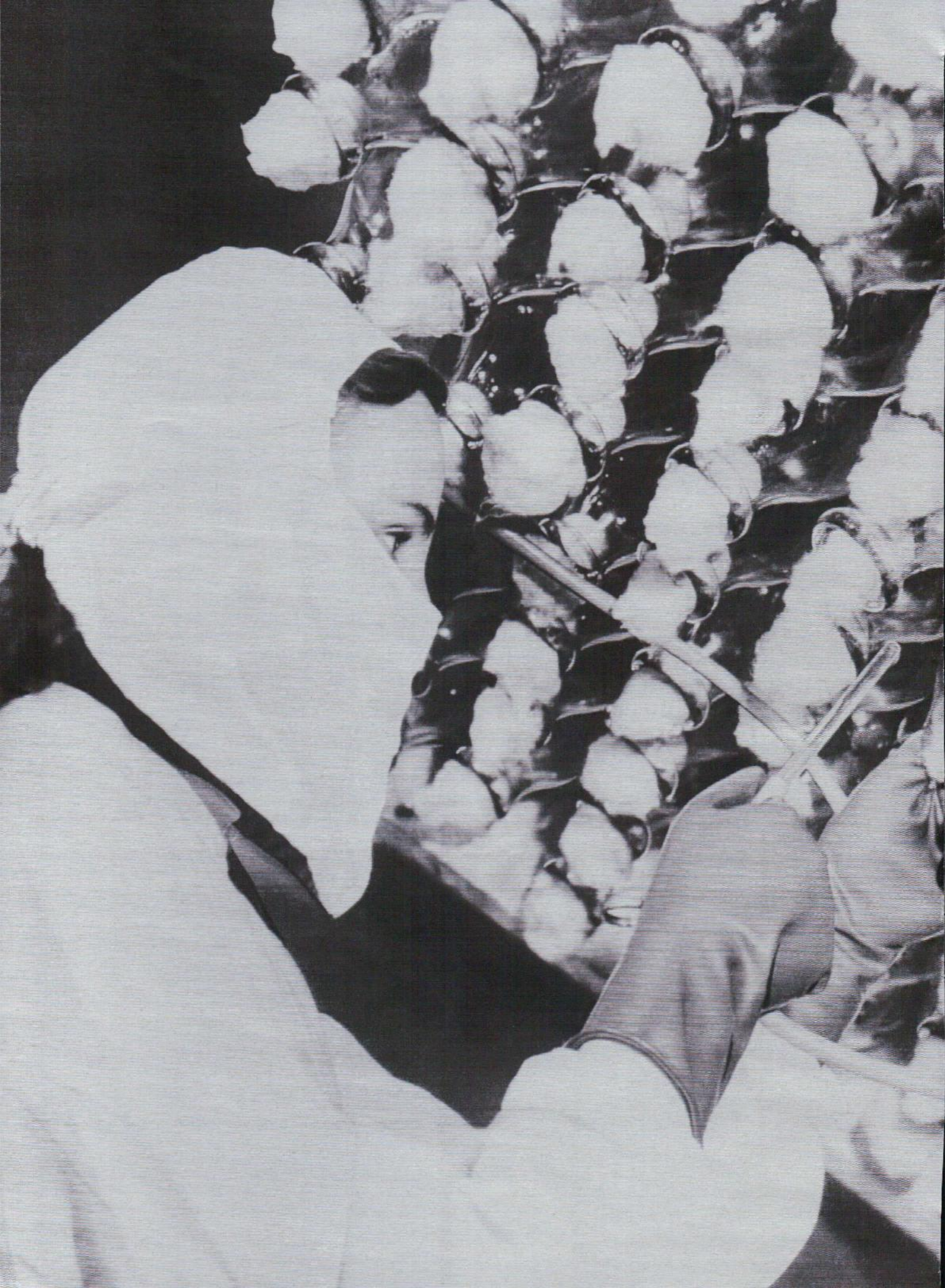
La prossima volta che vi capiterà quella che sembra una strana coincidenza, pensate al principio di improbabilità. ■

PER APPROFONDIRE

Duelling Idiots and Other Probability Puzzlers. Nahin P.J., Princeton University Press, 2000.

Il mostro e la simmetria. Una delle più grandi scoperte della matematica. Ronan M., Raffaello Cortina, Milano, 2007

La scienza della legge di Murphy. Matthews R. A.J., in «Le Scienze», n. 346, giugno 1997.



La guerra fredda della penicillina

Subito dopo la seconda guerra mondiale l'Italia assume un ruolo cruciale nella produzione dell'antibiotico, in un mondo diviso tra Stati Uniti e Unione Sovietica

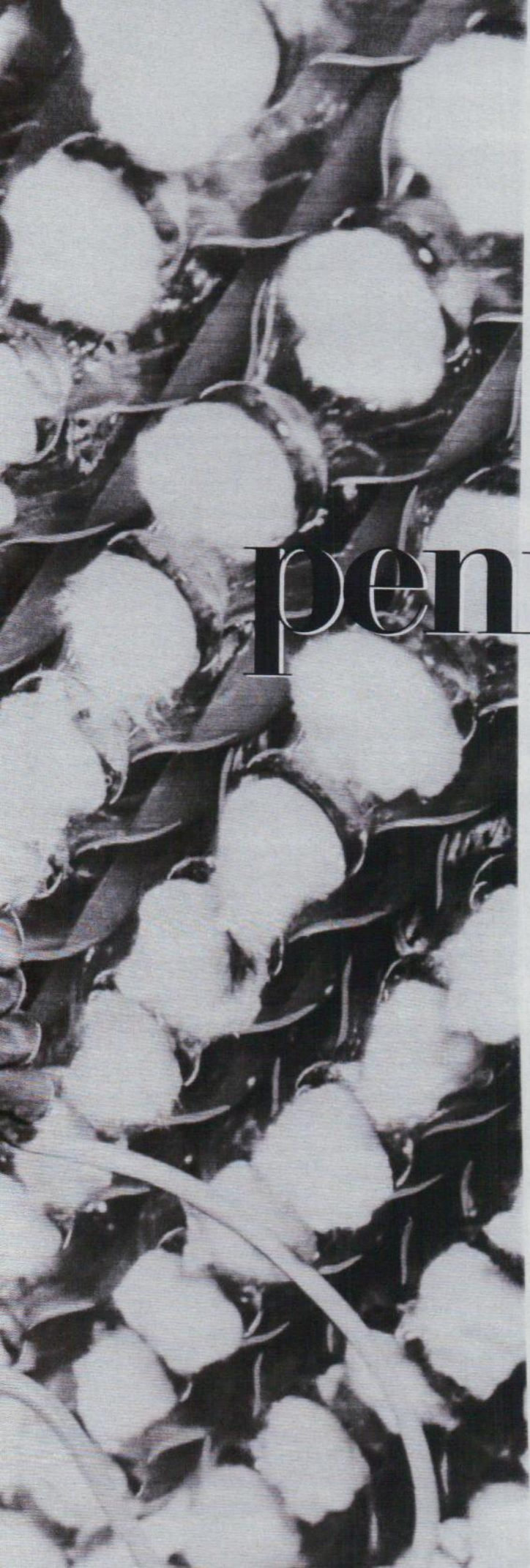
di Mauro Capocci

IN BREVE

Alla fine della seconda guerra mondiale l'allora direttore dell'Istituto superiore di Sanità Domenico Marotta decise di creare a Roma un centro di ricerca integrato legato ai processi di manifattura della penicillina, nell'ambito degli aiuti per la ricostruzione post-bellica.

La decisione era stata presa in seguito a un parere di Ernst Chain, premio Nobel nel 1945 per le scoperte sulla chimica della penicillina, chiamato poi da Marotta in Italia come figura cruciale per lo sviluppo del progetto che mirava alla produzione statale dell'antibiotico.

L'iniziativa di Marotta e il ruolo di Chain, che aveva avuto contatti con l'Unione Sovietica e paesi del blocco sovietico, permise all'Italia di diventare uno snodo fondamentale per l'innovazione e lo sviluppo dell'industria farmaceutica internazionale, in un mondo diviso dalla guerra fredda e in cui la penicillina era più che una terapia.

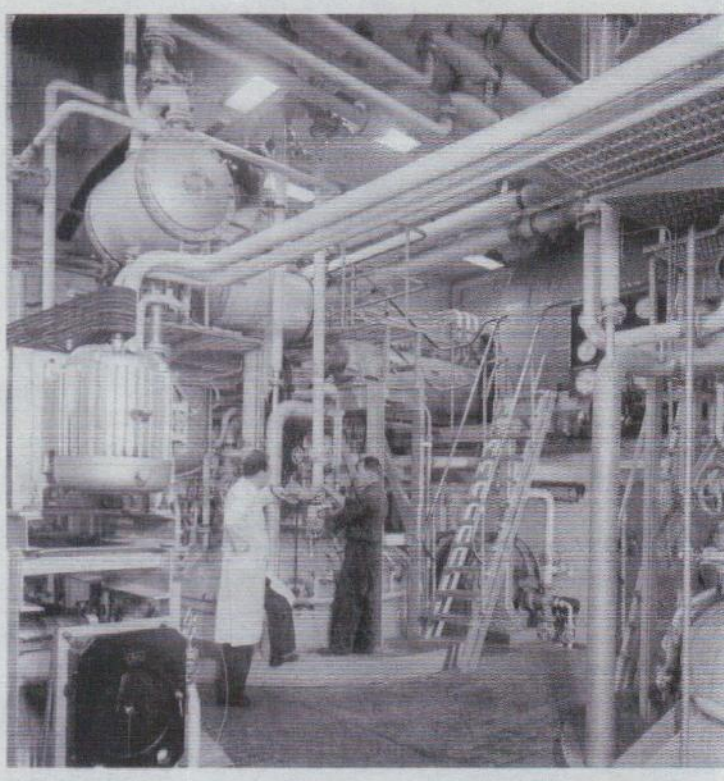


Bettmann/Corbis

Maggio 1944: ai Reichel Laboratories della statunitense Wyeth una donna inocula una coltura sterile con *Penicillium notatum* per produrre penicillina destinata ai soldati al fronte.

Mauro Capocci è ricercatore nell'unità di storia della medicina della «Sapienza» Università di Roma e si occupa soprattutto di storia delle scienze biomediche in Italia nel XX secolo. Le ricerche su ISS e penicillina sono state fatte in collaborazione con Daniele Cozzoli (Universitat «Pompeu Fabra» di Barcellona), e con l'aiuto di Giulia Rispoli («Sapienza»).

Dopo la seconda guerra mondiale l'Italia era un paese devastato: la dittatura e la guerra avevano procurato danni anche alla scienza e alle sue istituzioni. I migliori cervelli erano già fuggiti o si apprestavano a farlo: nel 1947 sarebbero emigrati due illustri allievi di Giuseppe Levi, ovvero Renato Dulbecco e Rita Levi Montalcini. Ma c'è una notevole eccezione a questa fuga di cervelli: l'Istituto superiore di Sanità (ISS), che tra il 1946 e il 1948 si assicura due stelle della scienza internazionale.



Daniel Bovet, il quale si trasferisce dall'Institut Pasteur di Parigi nel 1947, insieme alla moglie e collega Filomena Nitti; e nel 1948 Ernst Boris Chain, già premiato nel 1945 con il Nobel per la fisiologia o la medicina per le scoperte sulla chimica della penicillina, che diventa capo del laboratorio di chimica microbiologica. A Parigi Bovet aveva effettuato studi fondamentali su sulfamidici e antistaminici, e nel 1957, mentre era a Roma, fu insignito del Nobel per la medicina o la fisiologia. Chain era invece un personaggio pubblico importante.

Ebreo tedesco di origini russe, riparato nel Regno Unito negli anni trenta e ricercatore all'Università di Oxford, Chain era un personaggio noto a livello mondiale anche al di fuori dei laboratori, uno dei volti pubblici della penicillina, il farmaco che ha cambiato la medicina. Svizzero, Bovet ufficialmente venne a Roma perché la moglie voleva tornare in Italia (era a Parigi in esilio con il padre Francesco Saverio, antifascista). Inoltre la sua posizione all'Institut Pasteur non era ottima, in seguito a un cambio alla direzione dell'istituto, e all'Istituto superiore di Sanità gli offrirono un posto di capo di laboratorio, ben remunerato e ampia libertà di ricerca.

Grazie all'azione del suo direttore Domenico Marotta, ben connesso con il governo di Alcide De Gasperi, l'ISS era d'altra parte l'unico centro pubblico in grado di garantire strutture adeguate alla ricerca nelle scienze della vita, e stava sempre di più orientandosi, più che sui compiti di controllo nella sanità pubblica, verso la ricerca di base. Tuttavia, se Bovet aveva anche ragioni familiari per approdare a Roma, l'arrivo di Chain desta più stupore: che ci fa un premio Nobel in un paese che ancora stava lottando faticosamente per uscire dalle miserie della guerra? La storia dell'arrivo di Chain a Roma nello scenario internazionale della guerra fredda è interessante da raccontare per le implicazioni politiche ed economiche.

Lascia o raddoppia?

A quell'epoca la penicillina era una merce scarsa, la cui produzione su larga scala era pressoché monopolizzata dalle case farmaceutiche statunitensi. Per produrre l'antibiotico negli Stati Uniti si usava la tecnica della «fermentazione sommersa», che consentiva di far crescere il *Penicillium* in fermentatori di grande capacità (fino a diverse decine di migliaia di litri). Nel Regno Unito, dove pure era stato scoperto (*si veda il box nella pagina a fronte*), l'antibiotico era prodotto in piccoli flaconi, in un processo lento e di bassa efficienza. Un'eccezione era la danese Løvens Kemiske Fabrik, che dopo il 1946 riuscì a competere sul mercato mondiale degli antibiotici, grazie a una produzione di efficienza paragonabile a quella statunitense. Nella ricostruzione post-bellica l'antibiotico era quindi considerato strategico, soprattutto a fronte delle allarmanti necessità sanitarie emerse alla fine del conflitto.

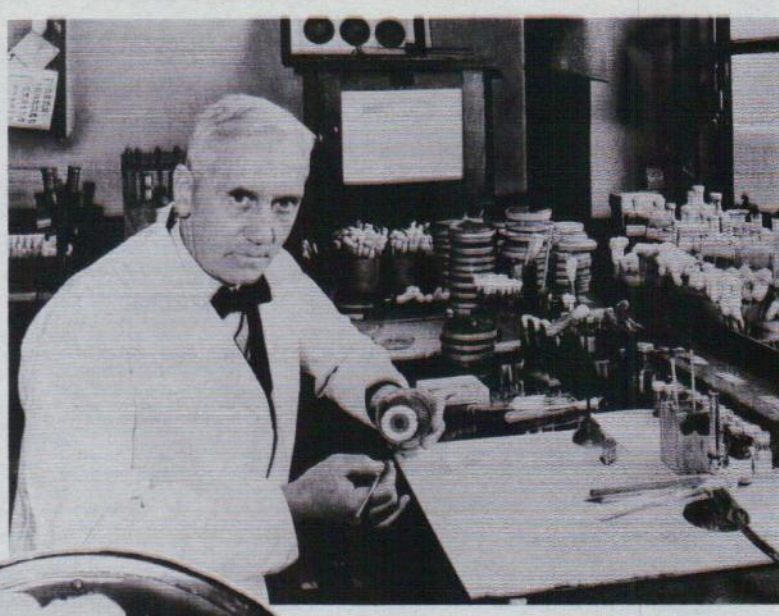
La United Nations Relief and Rehabilitation Administration (UNRRA) era l'organizzazione guidata dagli Stati Uniti che fino al 1947 si occupò di distribuire gli aiuti per le nazioni devastate dalla guerra: il farmaco miracoloso era tra le merci più richieste, al punto che si decise nel 1946 di regalare sei fabbriche di penicillina da costruire nel Vecchio Continente: Bielorussia, Polonia, Ucraina, Jugoslavia, Cecoslovacchia e Italia. Cinque nazioni dell'Europa dell'Est e il nostro paese. L'Unione Sovietica, vittoriosa ma a caris-

Cortesia Istituto superiore di Sanità

La scoperta della penicillina

Il primo antibiotico fu scoperto nel 1928 da Alexander Fleming, al St. Mary Hospital di Londra, in uno dei più importanti episodi di serendipity nella storia della scienza. Tornando da un viaggio, Fleming si accorse che una delle piastre dove stava facendo crescere stafilococchi era rimasta accidentalmente aperta: sulla superficie era cresciuta una muffa che aveva impedito lo sviluppo della colonia batterica. La muffa si rivelò essere il fungo della specie *Penicillium notatum*, e il filtrato di una cultura pura di questo fungo fu battezzato penicillina. Tuttavia il risultato di questo colpo di fortuna non fu immediato: Fleming aveva intuito il potenziale terapeutico della penicillina, ma avendo usato un filtrato molto grezzo la ritenne poco efficace, anche perché rapidamente escreta dall'organismo.

Il passo fondamentale fu fatto tra il 1939 e il 1941 dal gruppo della William Dunn School of Pathology di Oxford, e in particolare da Ernst Boris Chain e Norman Heatley, del gruppo guidato dall'australiano Howard Florey. Faticosamente, con un lavoro certosino e molto lungo (soprattutto per i rudimentali metodi di fermentazione) Chain e colleghi riuscirono a concentrare il composto attivo. Dopo una prima prova sui topi, all'inizio del 1941 riuscirono a compiere il primo test clinico su sei pazienti, dimostrando definitivamente l'efficacia della penicillina. Per questo intreccio tra caso, intuito e duro lavoro scientifico, Fleming, Florey e Chain furono insigniti del premio Nobel per la medicina o la fisiologia nel 1945.



Fleming nel laboratorio di Londra e una sua piastra di Petri con stafilococchi e penicillina; a fronte, fermentatori della fabbrica di antibiotico dell'Istituto superiore di Sanità nel 1952.

simo prezzo, riuscì a imporre gli aiuti ai paesi nella sua orbita, generando aspre critiche verso l'UNRRA negli Stati Uniti, che fecero il maggiore sforzo economico in questo piano di aiuti. La guerra fredda però iniziava già a delinearsi, e l'UNRRA lasciò il posto al piano Marshall (o European Recovery Program, ERP), più ricco ma soprattutto esplicitamente pensato come strumento, oltre che di aiuto, anche di propaganda politica e culturale. È in questo passaggio che si concretizza la vicenda della penicillina in Italia.

Il farmaco arrivò con gli Alleati, e le prime tracce sono nell'uso che se ne faceva negli ospedali militari a partire dalla metà del 1944 (*si veda il box a p. 67*). Alla fine del 1945 il dono dell'UNRRA viene comunicato all'Alto commissariato per l'igiene e la sanità (ACIS), l'ente del Ministero dell'interno poi sostituito nel 1958 dal Ministero della Sanità. Un fonogramma da Washington avverte l'ACIS che l'impianto offerto dovrà essere installato in un istituto già gestito dal Governo, e la produzione dovrà essere limitata al consumo interno, evitando le esportazioni.

L'Istituto superiore di Sanità, che Marotta dirigeva dal 1935, era quindi il posto adatto. Al suo interno infatti si eseguivano controlli chimici e fisici su farmaci e alimenti, si progettavano ospedali e strutture sanitarie, si studiava l'epidemiologia della popolazione italiana, e si producevano sieri e vaccini, in particolare per le forze armate. Inoltre l'ISS era il centro di riferimento per lo studio della penicillina, e aveva ricevuto in dono dal Regno Unito – a scopo di ricerca – colonie di *Penicillium*. Non stupisce dunque che l'ACIS decise rapidamente, nel febbraio 1946, di affidare all'istituto il nuovo impianto di produzione della penicillina.

Fino all'inizio del 1947 non fu data grande pubblicità all'iniziativa, ma una volta che l'ISS si fu assicurato un finanziamento statale aggiuntivo per la fabbrica di penicillina (350 milioni, il Consiglio nazionale delle ricerche aveva 150 milioni di *budget* per lo stesso anno), la notizia divenne di dominio pubblico. Nel frattempo due ricercatori dell'ISS erano andati a Toronto, a studiare l'impianto di fermentazione uguale a quello ricevuto in donazione dalla UNRRA.

Nel marzo 1947, però, Chain era impegnato in un tour italiano sotto gli auspici del British Council. Marotta colse la palla al balzo e gli fece esaminare i progetti del nuovo impianto di produzione di penicillina. Il giudizio di Chain fu lapidario: macchinario sorpassato, che sarebbe risultato in un'impresa antieconomica. Inoltre Chain era sicuro che le tecnologie in mano alle aziende private avrebbero reso inutile una produzione statale, tanto più se con impianti obsoleti. Molto meglio, secondo Chain, creare non una fabbrica, ma un centro di ricerca integrato, capace di sviluppare sia la biochimica delle fermentazioni sia l'ingegneria legata ai processi di manifattura degli antibiotici. Marotta non se lo fece ripetere due volte, e invece di lasciare raddoppiò: alla fabbrica di penicillina associò l'impianto pilota, una produzione sperimentale su piccola scala, ideale complemento del bancone del biochimico.

Iniziarono quindi due negoziati. Da un lato, convincere Chain a lasciare Oxford per la direzione del nuovo centro a Roma. Dall'al-

Corbis (*Fleming*); Bettmann/Corbis (*piastra con colture*)

tro, convincere i finanziatori statunitensi e il governo italiano a sostenere l'ambizioso progetto. La prima contrattazione si rivelò semplice, per l'insoddisfazione di Chain nei confronti dell'università britannica e del governo, che rifiutarono di finanziarne i progetti. Nella primavera 1948 Chain firmò il contratto e a fine anno si trasferì a Roma, con la moglie e collega Anne Beloff.

Più difficile fu la trattativa con gli statunitensi. Tra il 1947 e il 1948 iniziarono a lamentarsi del mancato avvio dei lavori, nonostante la spedizione del materiale fosse terminata. I progetti UNRRA dovevano concludersi, dato che l'ente era stato liquidato per fare posto al piano Marshall. Tuttavia Marotta prendeva tempo, adducendo ritardi e caos nelle consegne dei macchinari, arrivati in diversi porti italiani senza un coordinamento centrale. Ma, almeno a giudicare dai documenti disponibili nell'Archivio centrale dello Stato di Roma, Marotta omise anche un particolare, durante la trattativa: il fatto che Chain fosse in procinto di diventare il nuovo direttore del centro. Come si spiega questa «dimenticanza»?

Terapie e non solo

La chiave è nel ruolo, non solo terapeutico, degli antibiotici nei primi anni del dopoguerra. Questi farmaci, in particolare la penicillina, non erano solo miracoli medici, ma anche fonti di profitto, strumenti di penetrazione culturale e presidi vitali in caso di guerra. Il passaggio dall'UNRRA al piano Marshall fu d'altra parte segnato proprio dal cambiamento di strategia da parte degli Stati Uniti, desiderosi di esportare i valori della democrazia liberale e del libero mercato, e di frenare l'espansione sovietica.

Il caso della fabbrica di penicillina dell'ISS è un crocevia interessante. Le case farmaceutiche statunitensi, proprietarie dei principali processi per la produzione della penicillina, si stavano espandendo in diverse nazioni europee, non solo come esportatori della materia prima, ma anche con impianti di produzione. Tra queste nazioni, ovviamente, anche l'Italia. In particolare, a Roma stava sorgendo uno stabilimento della Laboratori Palma, casa farmaceutica dell'imprenditore siculo-americano Franco Palma (che nella sua vita fu pilota militare, poi tra i fondatori di Alitalia e comproprietario nel 1956 del primo supermercato italiano), che avrebbe prodotto penicillina su licenza della statunitense Squibb.

La partita di Marotta fu duplice nei confronti degli statunitensi. Prima convincerli, nel progetto UNRRA, a finanziare un grande laboratorio di ricerca, non proprio un aiuto per la ricostruzione; poi evitare che il finanziamento si limitasse al laboratorio, cancellando l'originario impianto di produzione. Non parlare di Chain era necessario per evitare di far sembrare il laboratorio un sogno di grandezza inadatto al paese devastato che aveva bisogno dell'UNRRA. E nel nuovo contesto del piano Marshall una fabbrica statale era malvista, ancora di più se diventava un progetto ambizioso con a capo un premio Nobel. D'altra parte, secondo Marotta fare il laboratorio di Chain senza la fabbrica avrebbe avuto poco senso: una prova generale senza lo spettacolo.

C'era anche un'altra ragione per non citare Chain e il suo ruolo all'ISS nel corso dei negoziati (già dal 1947 viene pagato per il suo ruolo di consulente, progettando il laboratorio e cercando persone altamente qualificate nella sua vasta rete di contatti): i tanti contatti di Chain con «l'impero del male» e con aziende concorrenti con le farmaceutiche. Nell'ambito delle operazioni UNRRA, Chain aveva aiutato la costruzione dell'impianto di penicillina in Cecoslovacchia e in Polonia, viaggiando molto in quei paesi. Inoltre era stretto collaboratore di Astra, azienda farmaceutica svedese rilevante nel campo degli antibiotici e non solo.

Il protagonista. Ernst Chain nel 1945, anno in cui fu insignito del premio Nobel per la medicina o la fisiologia per le scoperte sulla chimica della penicillina. Tre anni dopo si sarebbe trasferito in Italia.

Per parte sua, Chain aveva altri motivi di astio verso gli Stati Uniti, in particolare perché durante la seconda guerra mondiale avevano preferito avvalersi dell'aiuto del suo collega di Oxford Howard Florey per i progetti *top secret* di produzione di penicillina su larga scala. Chain fu invece tenuto fuori da questi progetti, e il suo ruolo nella scoperta della penicillina fu sminuito nelle ricostruzioni a favore di Alexander Fleming. Chain serbò questo rancore per anni, e certo non aiutò l'ostracismo statunitense: nel 1951 al premio Nobel fu addirittura negato il visto d'ingresso negli Stati Uniti, un divieto che resterà per diversi anni, nonostante il viaggio fosse patrocinato dall'Organizzazione mondiale della Sanità. Chain d'altra parte aveva avuto contatti ufficiali con l'uf-

Hulton-Deutsch Collection/Corbis

Antibiotico al fronte

Nel Regno Unito del 1941, già nel vivo della seconda guerra mondiale, le forze per affrontare il problema della produzione di massa della penicillina scarseggiavano. Grazie al contributo della Rockefeller Foundation, Florey e Heatley (*si veda il box a p. 65*) portarono la muffa negli Stati Uniti, dove un nuovo laboratorio del Department of Agriculture a Peoria applicò le nuove tecniche di fermentazione profonda, già usate per altri prodotti alimentari di interesse commerciale. Fu scoperto anche un nuovo ingrediente (il *corn steep liquor*, un derivato della lavorazione del mais) per la coltura del fungo e, da ultimo, venne individuato (su un melone ammuffito del locale mercato) un nuovo ceppo molto più produttivo.

Tra il 1942 e il 1943 negli Stati Uniti la penicillina diventò un affare nazionale e un episodio importante nello sviluppo della scienza contemporanea: università, centri di ricerca pubblica, militari e oltre 20 aziende furono uniti (non senza difficoltà) in una grande rete di condivisione di conoscenze per produrre l'antibiotico su scala industriale, grazie allo sforzo di coordinamento dell'Office for Scientific Research and Development. Di fatto, fu un passo fondamentale per l'egemonia delle *big pharma* statunitensi. Dal 1943 la penicillina fu sperimentata dall'esercito e fu subito usata al fronte, diventando parte dell'equipaggiamento dei soldati alleati. Nel 1944 Hitler stesso fu curato per una polmonite con la penicillina requisita a un prigioniero di guerra in Nord Africa.

Iniezione di penicillina a un soldato britannico ferito in Normandia nel 1944, qualche giorno dopo lo sbarco alleato.

Bettmann/Corbis

ficio per il commercio estero sovietico all'inizio del 1948, per una collaborazione nella produzione di penicillina e streptomicina.

I documenti dell'archivio personale (conservati alla Wellcome Library di Londra) mostrano che Chain non si faceva problemi ideologici nel lavorare con i sovietici, a patto che il contratto fosse congruo e che non usassero il suo nome senza consenso. L'anno successivo Chain si spese anche per superare l'embargo che gli Stati Uniti avevano posto sull'esportazione degli estrattori Podbielniak, un pezzo fondamentale per ottenere un prodotto di maggiore purezza e quindi aumentare i rendimenti degli impianti. Tramite l'Organizzazione mondiale della Sanità, Chain spingerà senza successo per la liberalizzazione di questa tecnologia a favore dei paesi che avevano ricevuto gli impianti in dono dall'UNRRA, e in particolare Jugoslavia, Cecoslovacchia e Polonia; Ucraina e Bielorussia, che avevano parimenti beneficiato dell'UNRRA, erano troppo legati all'Unione Sovietica per essere sostenuti.

Il ruolo dell'Unione Sovietica

Non stupisce quindi che Chain non fosse considerato di provata fede occidentale, e che anzi si diffondessero ovunque sospetti sui possibili tradimenti. «Un secondo caso Fuchs», scriveva un giovane Sandro Paternostro nell'estate del 1950 sul quotidiano «Il Momento», ricordando il fisico britannico accusato di spionaggio nucleare pochi mesi prima, e adombrando la possibilità che proprio Chain fosse una delle pedine attratte dai sovietici.

Grazie al Freedom of Information Act, inoltre, sono stati resi pubblici documenti della CIA che riguardano proprio la situazione sanitaria in Unione Sovietica alla fine degli anni quaranta e contengono una sezione dedicata alla penicillina, una questione ritenuta strategicamente importante. Questi documenti illustrano la raggiunta capacità, tra il 1948 e il 1949, di produzione industriale della penicillina da parte dei sovietici, in diversi stabilimenti sparsi nel paese, tra cui quello donato dall'UNRRA in Bielorussia. Tuttavia, ancora nel 1950, in alcune repubbliche sovietiche periferiche circolava penicillina di produzione statunitense.

D'altra parte la produzione industriale dell'Unione Sovietica ha avuto una storia piuttosto travagliata. Inizialmente gli scambi culturali con il Regno Unito avevano portato a progressi già alla fine della guerra. Tuttavia l'innalzarsi delle barriere ideologiche lasciò isolati i sovietici. Secondo Aleksandr G. Natradze dell'Istituto sovietico di medicina sperimentale e assistente commissario per la salute, tra il 1947 e il 1948 furono fatti tentativi ufficiali per acquistare tramite Francia e Regno Unito *know-how* e licenze per la produzione con il metodo della fermentazione sommersa. Le trattative (che non sappiamo se collegate a quelle avviate con Chain) furono però una trappola: dopo una prima stima di spesa di 10 milioni di dollari, il negoziato si protrasse e il prezzo lievitò fino a 30 milioni. Era chiaro che si stavano ponendo ostacoli per l'esportazione delle tecnologie. I sovietici avviarono quindi una produzione autonoma, grazie alle ricerca di quella che è considerata l'eroina della penicillina russa: Zinaida Vissarionovna Ermoleva.

Ermoleva, con la quale Natradze lavorava, sfruttò una specie di fungo diversa (*Penicillium crustosum*) rispetto a quella usata in Regno Unito e Stati Uniti (*P. notatum*), e mise a punto la fermentazione sommersa a partire dal 1949. Di fatto, alla fine del 1948, secondo un rapporto di *intelligence* militare sulla possibilità di combattere una guerra biologica, l'Unione Sovietica aveva ancora grossi problemi di approvvigionamento, che invece nel 1951 sembrano risolti. La penicillina e tutta la sua filiera di produzione erano quindi oggetto di provvedimenti strategici: l'esportazione del farmaco e dei macchinari per produrlo (non solo gli estrattori Podbielniak) erano controllati in tutto il blocco occidentale, e la CIA monitorava gli effetti dell'embargo verso l'Unione Sovietica.

Una stretta ulteriore avvenne tra il 1950 e il 1951: lo scoppio della guerra di Corea nel giugno 1950 portò a restrizioni più forti nella circolazione delle merci strategiche. Tornando all'Italia, anche nel nostro paese si avvertirono le nuove limitazioni. Nell'inverno del 1951 streptomicina e penicillina tornarono a essere scarse, e l'Alto commissariato per l'igiene e la sanità fu costretto a ricorrere alle licenze speciali per l'importazione. Come mai?

Anche in questo caso, le scelte di politica interna ed estera interferirono con lo sviluppo tecno-scientifico. Il progetto di Marot-

ta era ancora in fase di preparazione, e solo nel 1952 la fabbrica iniziò a produrre l'antibiotico. In Italia però c'erano diversi stabilimenti: Glaxo a Verona, per esempio, o Squibb (tramite la licenziataria italiana di Franco Palma) a Roma. Ma queste aziende non producevano la materia prima, come invece avrebbe fatto l'ISS e un'altra azienda a Roma, che rappresenta un caso interessante di intreccio tra scienza, politica ed economia: Leo Penicillina.

Una questione di equilibrio geopolitico

Nel 1946 la danese Løvens (in danese «leone»: ora si chiama Leo-Pharma) aveva stipulato un contratto con Cisitalia (industria piemontese con interessi nell'automobile e proprietaria anche della Juventus durante la seconda guerra mondiale) per lo sfruttamento del brevetto di produzione della penicillina, e la possibilità di vendere il farmaco in molti mercati dell'Europa sud-orientale e in Medio Oriente. Appena firmato il contratto apprendono la notizia dell'intenzione di costruire una fabbrica all'Istituto superiore di Sanità: ovviamente espongono le proprie lamentele al governo, difendendo i propri interessi. Ma sarà Marotta stesso a rassicurarli: la fabbrica dell'ISS non sarà in concorrenza con la produzione privata, e comunque lo Stato deve essere pronto a ogni eventualità.

La licenza italiana venne acquisita già l'anno successivo, probabilmente per difficoltà economiche dei primi proprietari, da Giovanni Armenise: editore del diffuso «Giornale d'Italia», proprietario della Banca dell'Agricoltura, imprenditore nelle miniere del Monte Amiata, molto vicino al Vaticano e molto potente già durante il fascismo. Armenise, che già produceva prodotti cosmetici e chimici con il marchio Odol, iniziò la costruzione di un impianto a Roma al decimo chilometro della Tiburtina, con l'aiuto dei tecnici danesi. Nel 1950 inaugurò la fabbrica nientemeno che Alexander Fleming: uno stabilimento all'avanguardia e con una capacità dichiarata di 2 miliardi di unità di penicillina, circa il doppio della cifra stimata come fabbisogno di tutto il paese. Perché tra il 1950 e il 1951, allora, ci si trovò in situazione di scarsità?

Il problema fu nelle scelte di politica economica italiana. Stretto tra le pressioni liberiste degli Stati Uniti, che in cambio degli aiuti chiedevano l'apertura dei mercati, e le necessità di crescita, il governo De Gasperi dovette scegliere. Nel caso di Leo Penicillina cedette alle pressioni dell'industria italiana: nel giugno 1950, scrivendo ai ministri competenti e a De Gasperi, il presidente di Confindustria Andrea Costa chiese che l'industria della penicillina godesse di «una protezione più accentuata che per la generalità delle altre industrie», allo scopo di evitare «azioni di *dumping* che porterebbero a rendere impossibile l'esercizio dell'industria nazionale».

Pietromassimo Pasqui (*fabbrica penicillina a Roma, due foto*)

La protezione si concretizzò in un dazio di importazione sugli antibiotici del 75 per cento del valore sul mercato italiano, cioè molto più alto del prezzo di produzione sia locale che estero.

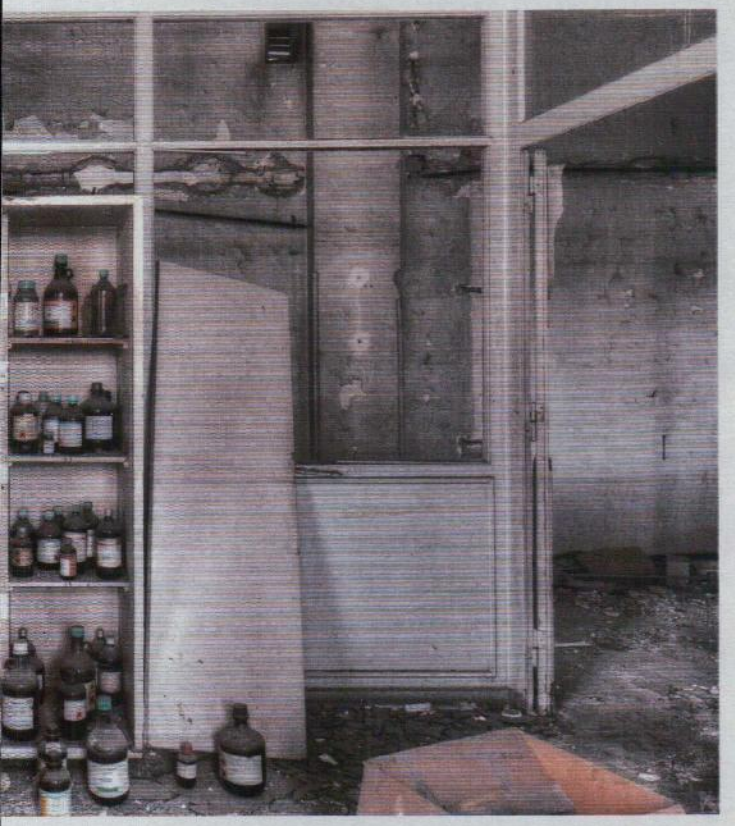
Essendo Leo Penicillina l'unico produttore privato di questo antibiotico ebbe buon gioco il deputato comunista Luigi Preti, in un dibattito del 1952, ad attribuire ad Armenise il lavoro di *lobbying* a sostegno dei dazi. Come spesso accadeva, la destra italiana fu a favore del protezionismo, mentre la sinistra filo-sovietica finiva per fare gli interessi del libero mercato e nel caso particolare delle case farmaceutiche statunitensi. In realtà, il Partito comunista italiano spinse per anni per la nazionalizzazione della produzione farmaceutica, una richiesta che però non trovò spazio. Il risultato della contingenza internazionale e delle scelte italiane fu una specie di monopolio per Leo Penicillina, durato almeno fino al 1952, quando gli ostacoli doganali vennero rimossi e altri concorrenti entrarono nel mercato. Questo fu sufficiente a cau-

La parabola di Marotta

Nato nel 1934 con il nome di Istituto di Sanità pubblica, dal 1935 al 1961 l'ISS venne diretto da Domenico Marotta. Il finanziamento iniziale per la sua fondazione provenne dalla Rockefeller Foundation, che promuoveva iniziative sanitarie in molti paesi del mondo, e in Italia aveva già generosamente sovvenzionato le campagne per l'eliminazione della malaria.

Dopo la seconda guerra mondiale diventò un punto di riferimento internazionale in diversi ambiti di ricerca, e contribuì in maniera decisiva alla modernizzazione della scienza italiana. Dopo il suo pensionamento, nel 1964 la gestione di Marotta fu messa sotto accusa dalla magistratura, che lo ritenne responsabile di un costante aggiramento delle norme di gestione degli enti pubblici e di malversazioni a favore di amici e parenti. Parte di queste accuse erano soprattutto dovute all'intricata burocrazia italiana, che non avrebbe permesso la crescita dinamica di questo istituto, a cui Marotta era riuscito a riservare molti spazi di autonomia nel corso del tempo.

La vicenda di Marotta, insieme a quella di pochi mesi prima di Felice Ippolito al CNEN, è considerata un punto di svolta nella storia della scienza italiana (si veda *Il caso Marotta: la scienza in tribunale*, di Giovanni Paoloni, in «Le Scienze» n. 431, luglio 2004). La crisi che seguì all'arresto di Marotta durò molti anni, dovuta a gestioni incapaci di restituire all'istituto il ruolo centrale nella ricerca biomedica del nostro paese.



C'era una volta. Accanto e nella pagina a fronte, quello che resta oggi della fabbrica Leo Penicillina, costruita a Roma al decimo chilometro della via Tiburtina dall'imprenditore Giovanni Armenise grazie all'aiuto di tecnici dell'azienda farmaceutica danese Løvens e inaugurata nel 1950 da Alexander Fleming.

sare per mesi difficoltà di approvvigionamento per penicillina e streptomicina, un effetto diretto della peculiarità italiana nel dopoguerra nei suoi rapporti internazionali.

La vicenda va infatti inquadrata nella posizione dell'Italia nella guerra fredda: un paese all'estremità del blocco occidentale ma con il più forte partito comunista europeo dopo quello sovietico, e in cui la politica cattolica era spesso in opposizione agli ideali culturali che arrivavano dagli Stati Uniti. Come ha scritto lo storico Barry Machado, della Washington and Lee University di Lexington, «l'Italia difese la propria sovranità e più volte spinse al limite lo spirito cooperativo americano», avendo capito che «per Washington il sostegno a un governo entusiasticamente anticomunista era più importante delle riforme economiche».

Il «pericolo rosso» fu quindi un fattore decisivo perché De Gasperi riuscisse a mettere in pratica un'azione politica di crescita e indipendenza del paese. Nel caso della penicillina in particolare, prima del 1948 il dono statunitense (la fabbrica dell'ISS) fu un'importante testimonianza dell'amicizia tra le due nazioni, con cui la propaganda comunista non poteva competere. Proprio la necessità di tenere saldo questo legame permise a Marotta e ai suoi alleati nel governo di negoziare condizioni molto favorevoli. Negli anni successivi questa relativa posizione di forza italiana rese possibili i progetti di crescita e indipendenza in settori strategici: come l'ENI di Mattei, che consentì la relativa autonomia energetica del paese, o la FIAT, che beneficiava anch'essa del sostegno pubblico e degli aiuti dell'EPR, a sua volta il progetto di Marotta di una fabbrica pubblica di penicillina poteva rappresentare, anche a livello simbolico, un'ulteriore dimostrazione di sovranità nazionale, per di più in un settore ad alto contenuto tecnologico. La visione di Marotta prese corpo appieno con Chain, facendo diventare l'Istituto superiore di Sanità uno snodo fondamentale per l'innovazione e lo sviluppo dell'industria farmaceutica italiana e non solo.

Nel suo progetto di grandezza scientifica, Marotta si avvantaggiò della temperie politica italiana e internazionale, sfruttando abilmente le possibilità offerte dai nuovi equilibri geopolitici. Quando nel 1964 fu arrestato per la «disinvoltura» con cui aveva diretto l'istituto fin dalla fondazione (*si veda il box in questa pagina*), da più parti gli fu rimproverata la tracotanza che lo aveva portato a ingaggiare Chain e a creare un'inutile fabbrica di antibiotici (che cessò di funzionare subito dopo), pervertendo la missione originale di sanità pubblica dell'istituto.

Ma non si deve dimenticare che proprio grazie alla fabbrica e al laboratorio, nel teatro dell'opposizione tra Est e Ovest, Roma divenne per almeno un decennio il nodo più importante di una rete internazionale di innovazione chimico-farmaceutica. ■

PER APPROFONDIRE

Penicillin, from Triumph to Tragedy. Bud R., Oxford University Press, 2007.

A Chain Is Gonna Come. Building a Penicillin Production Plant in Post-War Italy. Capocci M., in «Dynamis», Vol. 31, n. 2, pp. 343-362, 2011.

Making Biomedicine in Twentieth Century Italy: Domenico Marotta (1886-1974) and the Italian Higher Institute of Health. Cozzoli D., Capocci M., in «British Journal of History of Science», Vol. 44, n. 4, pp. 549-574, 2011.

COMPORTAMENTO ANIMALE

CERVELLO(NI) DI GALLINA

I polli sono intelligenti, e capiscono il mondo in cui vivono; questo solleva inquietanti domande sul trattamento che subiscono negli allevamenti intensivi

di Carolynn «K-lynn» L. Smith e Sarah L. Zielinski

Carlton Davis Trunk Archive

Carolynn «K-lynn» Smith è research fellow alla Macquarie University di Sydney, in Australia. Le sue ricerche riguardano comunicazione e cognizione negli animali, dalle seppie giganti australiane agli elefanti. Nel 2010, con altri colleghi, è stata premiata con l'Australian Museum Eureka Prize.

Sarah L. Zielinski è una giornalista scientifica indipendente di Washington. Ha pubblicato, fra l'altro, su «Science», «Scence News» e «Smithsonian».

Nel regno animale ci sono bestie più intelligenti di altre. Gli uccelli, in particolare, possono esibire molte notevoli abilità che un tempo si ritenevano limitate agli esseri umani: le gazze riconoscono la propria immagine riflessa allo specchio; i corvi della Nuova Caledonia costruiscono attrezzi e imparano a farlo dagli individui più anziani; il pappagallo cinerino africano è in grado di contare, dividere gli oggetti per categoria in base a forma e colore e imparare a capire varie parole del linguaggio umano. E c'è un cacatua ciuffogiallo di nome Palla di Neve che danza a tempo di musica.

Pochi però considerano intelligenti i polli. Negli ultimi anni, tuttavia, gli scienziati hanno appreso che questi uccelli possono essere astuti e ingannevoli, che le loro abilità comunicative sono all'altezza di quelle di alcuni primati e che usano raffinati segnali per comunicare le proprie intenzioni. Nel prendere decisioni, una gallina prende in considerazione le sue precedenti esperienze e ciò che sa della situazione in cui si trova. È in grado di risolvere problemi complessi e di manifestare forme di empatia quando altri individui sono in pericolo.

Le nuove scoperte sulla mente delle galline suggeriscono che certe capacità cognitive complesse tradizionalmente attribuite ai soli primati potrebbero essere più diffuse nel regno animale di quanto si pensasse. E hanno anche implicazioni etiche sul modo in cui la nostra società tratta i polli negli allevamenti industriali: riconoscere in essi certi tratti cognitivi ci obbliga a riesaminare in termini morali ciò che devono subire in sistemi di produzione fatti per rendere disponibili carne e uova di pollo nella massima quantità e al prezzo più basso.

Polli chiacchieroni

Per capire che cosa succede nel cervello dei polli c'è voluto quasi un secolo. I primi elementi sono emersi da studi condotti negli anni venti, quando il norvegese Thorleif Schjelderup-Ebbe stabilì che questi volatili da cortile hanno un sistema gerarchico, che chiamò «ordine di beccata» perché gli individui dominanti si imponevano somministrando bruschi colpi di becco ai sottoposti che non rispettavano la gerarchia.

Il successivo progresso nella comprensione della mente dei polli è arrivato trent'anni più tardi, quando Nicholas ed Elsie Collias caratterizzarono i richiami dei polli, stabilendo che il loro repertorio comprende circa 24 suoni, che appaiono specificamente legati a determinati eventi. Per esempio, in presenza di una minaccia che arriva dal cielo, come un'aquila affamata, i polli si accucciano ed emettono un «iii» molto lieve e acuto. I versi che la maggior parte delle persone associa ai polli sono in realtà quelli che emettono quando incontrano un predatore terrestre. Scoprire del cibo fa lanciare ai maschi una serie di «dock dock», soprattutto se può esserci in ascolto una femmina pronta a giudicarlo.

Questi primi risultati suggerivano che nel cervello dei polli, non più grande di una noce, succedesse più di quanto si poteva pensare. Nelle loro vocalizzazioni sono codificate informazioni specifiche, intese a evocare una particolare risposta in chi ascolta. Tuttavia, collegare suoni e movimenti al loro reale significato è stato problematico fino agli anni novanta, quando sono state sviluppate tecnologie che permettevano di verificare in modo più rigoroso le ipotesi. È stato allora che Chris Evans, della Macquarie

IN BREVE

Prove sempre più numerose indicano che il pollo domestico è assai più intelligente di quanto gli è stato riconosciuto finora.

Questi uccelli sono astuti, subdoli e capaci di empatia. E dispongono di raffinate abilità comunicative.

Le capacità cerebrali dei polli suggeriscono che nel regno animale l'intelligenza possa essere più diffusa di quanto si ritenesse.

L'immagine della mente del pollo che sta emergendo da queste scoperte ha implicazioni etiche sul modo in cui vengono trattati negli allevamenti intensivi.

I polli d'allevamento, come queste galline di uno stabilimento di Fleurus, in Belgio, vivono spesso in condizioni di estremo affollamento.

University di Sydney, in Australia, e altri ricercatori, hanno iniziato a usare dispositivi di registrazione audiovisiva e televisori ad alta risoluzione per verificare in condizioni controllate le funzioni dei vari suoni emessi dai polli. In sostanza, i ricercatori costruirono una specie di realtà virtuale a misura di pollo, circondando la gabbia degli esperimenti con schermi televisivi che consentivano loro di cambiare ciò che l'animale incontrava – compagni, concorrenti, predatori – e registrarne le reazioni in una serie di situazioni. La gallina sottoposta all'esperimento poteva vedere di volta in volta, per esempio, un falco in volo sopra di lei, una volpe che le correva incontro da un lato, un gallo che emetteva una serie di «dock-dock».

Dalla realtà virtuale è venuta una rivelazione stupefacente: suoni e movimenti dei singoli polli trasmettono informazioni specifiche. E gli altri polli le capiscono. Una gallina, per esempio, non ha bisogno di vedere un predatore volante per assumere il relativo comportamento di difesa: le basta sentire il richiamo di avvertimento di un altro pollo. I richiami dei polli sono «funzionalmente referenziali» – come direbbero i comportamentisti – nel senso che sono riferiti a oggetti ed eventi specifici più o meno come le parole usate dagli esseri umani. Nella gallina che ascolta il richiamo, il suono sembra creare un'immagine mentale di quel particolare oggetto, che la spinge e a reagire di conseguenza, che si tratti di sfuggire a un predatore o di avvicinarsi a una fonte di cibo.

La realtà virtuale ha anche rivelato che i singoli polli adattano i messaggi al proprio pubblico. Un gallo che vede una minaccia dall'alto, per esempio, può emettere un richiamo d'allarme se nelle vicinanze ha notato una femmina, ma restare in silenzio in presenza di un maschio rivale. Le femmine sono altrettanto selettive, e lanciano l'allarme solo quando hanno dei pulcini.

Considerati nel loro insieme, questi risultati suggeriscono che i suoni non siano solo un riflesso dello stato interno del pollo – del suo essere «spaventato» o «affamato». Al contrario, i volatili interpretano il significato degli eventi e rispondono a essi non con semplici riflessi, ma con azioni ben ponderate. I polli, a quanto pare, pensano prima di fare, un tratto associato più tipicamente ai mammiferi dotati di un grande cervello che agli uccelli.

Di riffa o di raffa

Il carattere referenziale dei loro richiami indica che la raffinatezza cognitiva dei polli è maggiore di quel che era stato loro riconosciuto. E solleva una questione affascinante: se hanno la capacità di comunicare informazioni su quanto avviene nel proprio ambiente, forse sanno anche nasconderle, o addirittura trasmetterne di false, quando un simile comportamento ingannevole può dare loro dei vantaggi? Nuovi elementi sono arrivati dallo studio di altre forme di segnalazione tra i polli.

È noto fin dagli anni quaranta che questi uccelli eseguono complesse esibizioni visive quando scoprono del cibo. Particolarmente notevole fra queste esibizioni è una serie di azioni – chiamate collettivamente *tidbitting* – in cui un gallo alfa torce più volte rapidamente il capo di lato e su e giù, e solleva e poi lascia cadere più volte un po' di cibo, per segnalare a una femmina di aver trovato un ghiotto boccone. Queste esibizioni sono il principale mezzo con cui il gallo attira una compagna.

Gli scienziati ritenevano che i maschi subordinati stessero bene attenti a non farsi notare per non destare le ire dell'individuo alfa. Ma alcune osservazioni condotte sui gruppi sociali dei polli facevano sospettare che l'ordine di beccata non fosse poi così ordinato come credevano i primi ricercatori. Prove sempre più nume-

Yves Logghe/Ap Photo

rose indicavano anzi che i polli potevano comportarsi da subdoli ingannatori.

Inizialmente questi drammi segreti erano sfuggiti agli osservatori umani perché le interazioni fra i membri del gruppo sono rapide e spesso furtive: i polli preferiscono nascondersi nell'erba alta e dietro ai cespugli. Inoltre è semplicemente impossibile per una persona osservare da sola tutti i polli allo stesso tempo. Per ridurre al minimo queste difficoltà una di noi (Smith) ha escogitato una soluzione: il «Grande Fratello Pollo».

Smith e colleghi hanno equipaggiato le voliere esterne della Macquarie University – vasti terreni pieni di vegetazione e completamente recintati – con numerose telecamere ad alta definizione e microfoni, in modo da cogliere tutti i movimenti e i suoni degli uccelli; e poi hanno analizzato le registrazioni.

Come previsto, il maschio alfa di ciascun gruppo annunciava con i suoi chicchirichì di essere il padrone del territorio, e si esibiva in offerte di cibo per attirare le femmine. Inoltre lanciava segnali di allarme per avvisare l'intero gruppo dei pericoli dall'alto.

Le sorprese sono venute dai subordinati. I ricercatori si attendevano che questi maschi stessero per conto proprio, per evitare di essere inseguiti e colpiti dal becco e dagli speroni del maschio alfa se mai avessero osato fare qualche avance alle sue pollastre. Ma le telecamere e i microfoni hanno rivelato una storia più complessa. I maschi di rango inferiore impiegavano tattiche ingannevoli, in modi fino ad allora ritenuti impossibili per questi uccelli: eseguivano infatti solo la parte visiva dell'offerta del cibo – muovendo la testa ma senza emettere suoni – producendo così un nuovo segnale con cui attirare silenziosamente le femmine senza esporsi alla furia del gallo alfa.

Il fatto che i maschi subordinati modificassero in questo modo le proprie esibizioni per sedurre le galline di nascosto dimostra una flessibilità comportamentale che ha lasciato stupefatti i ricercatori. Ma la capacità d'inganno dei polli non aveva certo finito di stupire.

Per esaminarne il comportamento più da vicino, i ricercatori hanno migliorato ancora la tecnologia. Spesso le vocalizzazioni dei polli sono tanto sottili che, malgrado l'ampio spiegamento di telecamere e microfoni, Smith e colleghi non riuscivano a coglierle. Dovevano trovare il modo di registrare tutti i richiami così come li emettevano e li udivano i singoli uccelli.

L'ideale sarebbe stato equipaggiare ogni pollo con una specie di radiomicrofono a zainetto simile a quelli usati sul campo dai giornalisti televisivi. Ma come realizzarli, con quale materiale? Smith ha pensato ai reggiseni usati, e si è messa a raccoglierli: preferibilmente con aggancio rapido e di colore nero, perché non risaltassero troppo sulle piume. Ha recuperato gancetti e bretelle regolabili e vi ha attaccato i microfoni. Una volta chiuse intorno al corpo dei polli, queste bardature di fortuna – soprannominate «Grande Fratello Pollo 2.0» – erano in grado di registrare tutto ciò che i volatili potevano dire e sentire.

La Smith era interessata, in particolare, a osservare meglio come questi animali rispondono ai pericoli. Le precedenti ricerche, secondo cui i maschi a volte lanciavano richiami quando vedevano un predatore in volo, per esempio un falco, suscitavano perplessità, perché emettere queste grida accresce il rischio per il gallo di essere notato e attaccato. L'assunto degli scienziati era che per il maschio il bisogno di difendere la compagna e la prole fosse così essenziale che valeva la pena di emettere questo versi. Smith si è chiesta, però, se questo comportamento non potesse essere influenzato da altri fattori.

È venuto fuori che è proprio così. Usando il Grande Fratello Pollo 2.0 per origliare anche le comunicazioni più tenui, si è visto che a volte i maschi emettevano i richiami per ragioni egoistiche. Essi valutavano infatti sia il proprio rischio sia quello che correvano i rivali, ed era più facile che lanciassero un avvertimento quando potevano contemporaneamente tenere al minimo il rischio per

A che servono i bargigli

Sapere che i polli possono guardarsi l'un l'altro alla televisione ha ispirato a una di noi (Smith) e ai suoi colleghi la realizzazione di un gallo animato in 3D, sviluppato con la stessa tecnologia di *rendering* che è stata usata in film come *Skyfall* e *Titanic*. Il gallo virtuale ha permesso al gruppo di ricerca di studiare il significato delle esibizioni di questi uccelli e il modo in cui si percepiscono l'un l'altro. E di rispondere all'annosa domanda su perché il gallo ha i bargigli.

I bargigli sono le appendici carnose che penzolano dal becco del gallo. Quando un maschio esegue un'esibizione di offerta di cibo – una serie di movimenti del capo con cui comunica alle potenziali compagne di aver trovato del cibo – i bargigli oscillano avanti e indietro, fino a colpirlo ai due lati del capo quando si lascia trasportare dall'entusiasmo.

Decenni di ricerche non avevano evidenziato nei maschi alcun beneficio dovuto all'avere i bargigli. Smith sospettava che queste appendici potessero rendere più evidenti le esibizioni del maschio dandogli un vantaggio nell'attrarre le femmine, ma non poteva verificare l'idea tagliando i bargigli per poi osservare le reazioni di una gallina. Allora ha realizzato un gallo animato che poteva far esibire a comando dinanzi a una gallina vera, e poi ha modificato la flessibilità e le dimensioni dei bargigli del suo pollo animato per vedere come avrebbero reagito le femmine.

Si è visto che i bargigli funzionano da bandierine di segnalazione per le femmine, che grazie a essi individuano più facilmente i maschi in possesso di cibo. Per il maschio l'ornamento può avere un certo costo in termini di salute, perché bargigli più grossi significano più testosterone, che indebolisce il sistema immunitario; ma a lungo termine ne vale la pena, perché gli permettono di conquistare le ragazze.

A volte l'intelligenza dei polli rende difficile studiarli. In parecchie occasioni un animale ha mandato all'aria l'esperimento rispondendo a una domanda che non era quella posta dal ricercatore. Per un esperimento sul *tidbitting*, Smith aveva realizzato un apparato in cui una gallina aveva la possibilità di osservare un maschio in possesso di cibo. Prima di farlo doveva però attendere dietro uno sportello, controllato a distanza con un servomeccanismo recuperato da un'automobilina giocattolo. Una certa gallina, identificata da una fascia arancione con il numero 07 (e quindi affettuosamente soprannominata «007») combinava sempre un sacco di guai. Mentre aspettava che le fosse aperto lo sportello con il telecomando, una volta 007 ha perso la pazienza e si è messa a esaminare attentamente il meccanismo di apertura, voltando la testa da una parte all'altra e, dopo qualche momento, ha tirato con il becco proprio il filo che comandava la serratura. Lo sportello si è aperto, e 007 ha ottenuto quel che voleva: avvicinarsi al giovanotto in possesso di cibo.

Dopo quell'unica prova, non c'è stato più verso di farla aspettare. Malgrado i ricercatori avessero cambiato più volte la configurazione della serratura, 007 è sempre riuscita a risolvere il problema e a uscire dallo sportello senza aspettare il suo turno.

se stessi e accrescerlo per un rivale. Un maschio emette richiami di avvertimento più spesso quando sta al sicuro sotto un cespuglio mentre il rivale si trova all'aperto e quindi rischia di essere catturato da un predatore in picchiata. Con un po' di fortuna, il galletto protegge la gallinella, e ad andarci di mezzo sarà un altro.

Questa strategia è detta compensazione del rischio, e si tratta di un'altra abilità che i polli hanno in comune con gli esseri umani. Molti di noi accettano più facilmente di correre rischi quando percepiscono un fattore che li mitiga. In automobile, molte persone corrono di più se hanno le cinture di sicurezza o se i freni sono dotati dispositivi antiblocco. Analogamente, i polli maschi corrono più rischi quando si sentono più sicuri.

Mamma chioccia

La lista delle capacità cognitive dei polli continua ad allungarsi a ogni nuova scoperta scientifica. Giorgio Vallortigara, dell'Università di Trento, ha scoperto che i giovani pulcini sono già in grado di distinguere i numeri e di servirsi della geometria. Dinanzi a un triangolo incompleto, per esempio, i polli sono capaci di identificare quale dovrebbe essere il suo aspetto una volta completato. E una ricerca pubblicata nel 2011 da Jo Edgar dell'Università di Bristol, in Inghilterra, ha rivelato un aspetto più tenero di questi uccelli, mostrando che, oltre al loro lato più machiavellico, sono anche capaci di empatia.

Nell'esperimento di Edgar alcune chiocce vedevano i propri pulcini ricevere un innocuo sbuffo d'aria che ne increspava il soffice piumaggio. I pulcini percepivano lo sbuffo come una minaccia e presentavano alcuni classici segni di stress, come l'aumento della frequenza cardiaca e l'abbassamento della temperatura oculare. Il fatto notevole è che le madri entravano in agitazione anche solo guardando le reazioni dei propri pulcini. Benché non ricevessero direttamente gli sbuffi e anche se i pulcini non correvano alcun chiaro pericolo, le chiocce esibivano infatti gli stessi segni di stress dei pulcini, aumentando i richiami che lanciavano verso i piccoli. I risultati indicano che i polli sono in grado di assumere il punto di vista di altri individui, una capacità osservata in precedenza solo in poche specie, fra cui corvi, scoiattoli e, ovviamente, esseri umani.

I suoni e i movimenti dei singoli polli trasmettono informazioni specifiche. E gli altri polli le capiscono

Il fatto che il pollo domestico, che non è strettamente imparentato con altre specie di uccelli note per le loro capacità cerebrali, abbia capacità cognitive così avanzate suggerisce considerazioni interessanti sulle origini dell'intelligenza, che forse potrebbe essere molto più comune, nel regno animale, di quanto credessero i ricercatori: potrebbe trattarsi di una caratteristica che emerge ogni volta che le condizioni sociali sono favorevoli, anziché una dote rara e di difficile evoluzione.

Il pollo, dal canto suo, ha presumibilmente ereditato le sue capacità cognitive dall'antenato selvatico da cui discende, il gallo rosso, che vive nelle foreste dell'Indonesia e della Cina. Qui la società ancestrale dei polli era fatta di gruppi semistabili di lunga durata comprendenti da 4 a 13 individui di varie età. A capo di ogni gruppo c'erano un maschio dominante e una femmina dominante e, come in tante società, questi ottenevano ciò che volevano – spazio, cibo o sesso che fosse – soprattutto tenendo al loro posto i subordinati. I maschi passavano parecchio del loro tempo a esibirsi per le femmine e offrendo loro del cibo; le femmine osservavano attentamente i maschi, giudicandoli dalle loro azioni e, ricordando quel che avevano fatto in passato, evitavano quelli ingannevoli o maligni. La reputazione era importante, a lungo termine, per il successo di un gallo con le galline, e la competizione per le femmine era assai accesa.

Ma la pressione sulle loro capacità mentali non veniva soltanto dalla competizione all'interno del gruppo. C'era anche una serie minacce esterne – fra cui predatori come volpi e falchi – ciascuna delle quali richiedeva una diversa strategia di evitamento. Queste condizioni hanno costretto i polli a sviluppare strategie intelligenti per trattare gli uni con gli altri e fronteggiare i pericoli esterni, e forme di comunicazione su queste situazioni. Queste caratteristiche sono tuttora presenti nel pollo domestico.

Il fatto che una simile serie di capacità appartenga ad animali che gli uomini mangiano a miliardi solleva naturalmente alcuni interrogativi sul modo in cui sono trattati. Uccelli che allo stato selvatico tipicamente vivrebbero in piccoli gruppi possono essere rinchiusi anche con 50.000 loro simili. Una vita che potrebbe durare anche dieci anni è accorciata ad appena sei settimane per i polli da carne. Sono uccisi così presto perché sono stati geneticamente selezionati per crescere tanto in fretta che se li si lasciasse vivere ancora sarebbero soggetti a malattie cardiache, osteoporosi e fratture ossee. E non va molto meglio alle galline ovaiole, che vivono solo 18 mesi in uno spazio più o meno equivalente a un foglio di carta A4.

La flessibilità e l'adattabilità del pollo, derivate da un animale sociale come il gallo rosso da cui discende, sono state forse tra le cause della sua rovina, perché hanno consentito a questi uccelli di sopravvivere anche nelle condizioni intensamente innaturali in cui oggi li allevano gli esseri umani. Questo tipo di allevamento intensivo andrà avanti, probabilmente finché la maggior parte della gente non si preoccuperà della provenienza del proprio cibo e non si renderà conto della particolare natura dei polli.

I consumatori hanno però cominciato a cambiare le cose. In Europa e in alcuni Stati degli Stati Uniti, come la California, si stanno approvando nuove leggi che richiedono migliori condizioni di alloggio per le galline ovaiole, in larga parte grazie alle richieste da parte dei consumatori di migliorare il benessere degli animali, e avere insieme cibi più sani. In Australia i produttori arrivano a sottolineare le positive condizioni in cui allevano gli animali cercando di accaparrarsi i favori di una crescente popolazione di consumatori sensibili ai temi etici. C'è però ancora molto da fare. In larga misura, le condizioni in cui vengono allevati i polli da carne non sono ancora state esaminate a fondo.

I ricercatori hanno appena cominciato a chiarire la reale natura dell'intelligenza dei polli, ma una cosa è già certa: avere un cervello di gallina non vuol dire essere scemi. ■

PER APPROFONDIRE

Tactical Multimodal Signalling in Birds: Facultative Variation in Signal Modality Reveals Sensitivity to Social Costs. Smith C.L., Taylor A. e Evans C.S., in «Animal Behavior», Vol. 82, n. 3, pp. 521-527, 1° settembre 2011.

The Chicken Challenge: What Contemporary Studies of Fowl Mean for Science and Ethics. Smith C.L. e J. Johnson J., in «Between the Species», Vol. 15, n. 1, pp. 75-102, 2012.

La logica del corvo. Heinrich B. e Bugnyar T., in «Le Scienze» n. 465, maggio 2007.

Salto quantico. Con qCraft i ragazzi familiarizzano con l'entanglement quantistico e altri bizzarri concetti della fisica.

M I

GAMES

N D

Videogiochi a scuola

I giochi digitali hanno le carte in regola per trasformare il metodo d'insegnamento nelle scuole. Prima però autori dei videogiochi, insegnanti e genitori devono superare le reciproche diffidenze e andare oltre le apparenze

di Alan Gershenfeld

Alan Gershenfeld è co-fondatore e presidente della casa editrice di videogiochi E-Line Media, e *founding industry fellow* al Center for Games and Impact dell'Arizona State University.

Ho iniziato la mia carriera nel mondo dei videogiochi nel 1993, quando l'icona del settore era *Mortal Kombat*. In questo gioco di combattimento con arti marziali due giocatori se le davano di santa ragione fino a quando uno dei due non era abbastanza stordito da permettere all'altro di assestargli il colpo finale (la mossa chiamata *fatality*).

In *Mortal Kombat* ogni personaggio aveva una sua mossa preferita: ne ricordo uno, in particolare, che prendeva la testa dell'avversario e gli strappava la spina dorsale dal corpo lasciandolo ancora in piedi. Genitori e politici, ovviamente, inorridivano. Dopo che il Parlamento degli Stati Uniti tenne varie audizioni sui giochi come *Mortal Kombat* e sull'influenza che potevano avere sui giovani, nacque l'Entertainment Software Rating Board: l'ente attualmente valuta i videogiochi e le età per cui sono adatti.

I miei amici e parenti pensavano che fossi matto a lavorare in questo campo, soprattutto perché per farlo avevo lasciato una promettente carriera nel cinema indipendente. Erano convinti che i videogiochi fossero qualcosa di frivolo (al meglio) e pericoloso (al peggio). Invece io, nuovo responsabile di produzione della nota casa editrice di videogiochi Activision, avevo capito subito che c'era molta più varietà tra i diversi prodotti e molti più livelli di interpretazione rispetto a quanto pensava la maggior parte delle persone. Vedevo i videogiochi come un mezzo di intrattenimento emergente, se non addirittura una nuova forma d'arte.

Al centro dei videogiochi c'è ciò che può fare il giocatore durante una partita. Mentre molti si concentrano su azioni come correre, saltare, combattere e sparare, io ho sempre trovato più interessante tutto quello che può nascere da avventure, strategie, simulazioni e rompicapi. Mi piacciono i giochi che permettono di esplorare, valutare, scegliere, decidere e risolvere. Per esempio in *Spycraft*, sviluppato con l'aiuto dell'ex capo della CIA William Colby e dell'ex maggiore del KGB Oleg Kalugin, i giocatori si trovano di fronte a dilemmi morali ed etici basati su eventi realmente accaduti durante la guerra fredda. In *Civilization: Call to Power* i giocatori devono prendere decisioni molto complesse per riuscire a costruire un mondo virtuale sostenibile, trovando un equilibrio tra evoluzione culturale, diplomatica, militare e scientifica

Nonostante abbiano un seguito fedele, però, questo tipo di giochi non si è mai avvicinato alla notorietà dei videogiochi d'azione più in voga. Così a metà degli anni novanta le persone hanno iniziato a pensare che i videogiochi fossero tutti come i cosiddetti «sparatutto in prima persona», in cui il giocatore va avanti in ambienti tridimensionali falciando i nemici con armi di ogni genere. Quando si scoprì che i responsabili del massacro di Columbine del 1999 erano appassionati di questo genere, la cattiva fama dei videogiochi peggiorò ulteriormente.

Oggi circolano opinioni più varie. Da una parte ci sono conferenze, articoli e *best seller* che sostengono che i giochi e la *gamification* (l'applicazione della progettazione di videogiochi, cioè il *game design*, alla soluzione di problemi reali) potrebbero salvare il pianeta. Dall'altra i genitori non vedono di buon occhio il fatto che i figli passino tanto tempo con strumenti digitali (più di otto ore al giorno in media, negli Stati Uniti), ed è comprensibile che non si sentano tranquilli se i loro bambini passano i pomeriggi a mitragliare allegramente decine di vittime virtuali.

Resta il fatto che i videogiochi potrebbero aiutare la scuola ad affrontare le grandi sfide del XXI secolo. Il motivo per cui abbiamo fondato E-Line Media è proprio trovare il modo più efficace di usare i videogiochi per migliorare il sistema educativo; per riuscirci, collaboriamo con National Science Foundation, Bill & Melinda Gates Foundation, MacArthur Foundation, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), White House Office of Science and Technology Policy, Intel, Google, Center for Bits and Atoms del Massachusetts Institute of Technology, Center for Games & Impact dell'Arizona State University e molti altri ancora. Prima di trovare la soluzione giusta, però, sarà necessario che il settore faccia uno sforzo enorme in termini di ricerca e sviluppo.

La classe del 2024

Tra dieci anni i bambini che oggi frequentano la seconda elementare finiranno la scuola superiore in un mondo popolato da 8 miliardi di persone. Da adulti dovranno adattarsi a cambiamento climatico, scarsità delle risorse idriche, forte urbanizzazione e a molte altre sfide. Svolgeranno lavori che oggi nemmeno esistono, impareranno a dominare tecnologie che non sono ancora state sviluppate e si dovranno costruire competenze che non possano essere replicate né da una macchina né dalla manodopera a basso costo. Avranno bisogno di cultura scientifica ma anche di abi-

IN BREVE

Nuovi studi mostrano che i videogiochi hanno un grande potenziale educativo. Un buon gioco esercita abilità di ordine superiore come ragionamento basato sulle prove, *problem solving* e collaborazione, in modi spesso esclusi alla pedagogia tradizionale.

Al momento però teorie e speranze sono ancora lontane dal concretizzarsi. Per questo gli sviluppatori devono collaborare con insegnanti e ricercatori per progettare nuovi giochi adatti anche all'uso in aula, che siano educativi e naturalmente piacciano ai ragazzi.

Cortesia GCRAFT.ORG (*pagine precedenti*)

Gli studenti della scuola «Quest to Learn» di New York ricevono un'introduzione ai principi del game design giocando a Gamestar Mechanic, in un processo creativo che esercita molte abilità di grado superiore evidenziate dagli standard delle scuole elementari e medie negli Stati Uniti.

lità sociali, e dovranno capire sistemi complessi, pensare in modo critico e proporre soluzioni basate sui dati a disposizione (anche se incompleti o in conflitto tra loro). Dovranno perseverare, nonostante tutto.

Troppe scuole non fanno abbastanza per aiutare i bambini a sviluppare queste capacità. Spesso la curiosità innata che hanno gli alunni di prima elementare per i meccanismi di funzionamento del mondo si spegne prima ancora di finire le medie. Le statistiche dicono che negli Stati Uniti abbandona gli studi un ragazzo ogni nove secondi: un fenomeno che nel decennio a venire si stima costerà al paese 3000 miliardi di dollari tra salari che resteranno più bassi del dovuto, produttività perduta e mancato gettito fiscale. Non solo: oggi il 46 per cento degli studenti universitari statunitensi non si laurea entro sei anni dall'immatricolazione.

È evidente che molti giovani non considerano né importante né interessante la formazione offerta dal sistema educativo tradizionale. Nel frattempo i giochi digitali catturano la loro attenzione quasi senza esclusione: il 97 per cento degli adolescenti statunitensi ci gioca regolarmente. Per fortuna anche i giochi la cui reputazione sembra irrecuperabile possono avere effetti neuropsicologici positivi e duraturi. Daphne Bavelier, psicologa dell'Università di Ginevra, ha dimostrato che i giochi d'azione violenti possono incrementare nel tempo la plasticità cerebrale e la capacità di apprendimento, migliorare la vista e favorire la capacità di prendere decisioni in base alle proprie percezioni. E ancora: possono rafforzare la capacità del giocatore di escludere le distrazioni e quella di far ruotare gli oggetti nella propria mente.

I videogiochi non sono come gli altri mezzi di comunicazione oggi popolari: sono interattivi e partecipativi. Danno la possibilità di immedesimarsi in ruoli diversi – scienziato, avventuriero, inventore, capo politico – e di affrontare problemi, prendere decisioni ed esplorare le conseguenze delle proprie scelte. Permettono ai ragazzi di procedere secondo i loro tempi e di sbagliare in un ambiente protetto, in cui non rischiano nulla di reale. Quello che più conta, danno loro il potere di agire e fare la differenza, non importa che si tratti di un mondo virtuale o reale.

Proprio mentre la scuola attraversa un periodo di enormi difficoltà, le ultime scoperte scientifiche rivelano un importante collegamento tra game design di qualità e apprendimento efficace. Negli Stati Uniti, portatili e *tablet* a basso costo si stanno diffondendo in tutte le aule, ma la maggior parte degli insegnanti non ha ancora un'idea precisa di come usarli per scopi educativi. Le scuole lavorano per adeguarsi ai dettami di Common Core State Standard Initiative e Next Generation Science Standards [che definiscono la preparazione che gli studenti dovrebbero avere alla fine di ogni anno scolastico, in matematica e inglese il primo e materie scientifiche il secondo, N.d.t.], molto attenti alle abilità di ordine superiore; ma i programmi e la pedagogia tradizionali si stanno dimostrando inefficienti nel mettere in pratica tutto questo.

L'apprendimento ludico (*game-based learning*) ha il potenziale per vincere molte di queste sfide. Gli insegnanti potrebbero usare i giochi per rielaborare i programmi, e gli studenti per esercitare le proprie capacità di pensiero critico, *problem solving*, creatività e collaborazione. Un'interpretazione in chiave ludica potrebbe restituire fascino e meraviglia alla scienza e al processo di ricerca.

Questa è la buona notizia. La cattiva è che esiste un enorme divario tra teoria e pratica, tra quello che si potrebbe fare e la realtà di oggi. La maggior parte dei progetti di apprendimento ludico ha enormi difficoltà nel momento in cui cerca di trasformare il frutto della ricerca in prodotti di successo. Come risultato, la retorica su giochi e apprendimento può sembrare esagerata.

Con i miei colleghi abbiamo fondato E-Line Media per contribuire a colmare questo divario. Ma ci sarà bisogno di più di un'azienda. I migliori progettisti di videogiochi dovranno collaborare con scienziati e insegnanti per elaborare giochi in linea con le più recenti scoperte di neuroscienze, scienze del comportamento e scienze dell'apprendimento.

Giocando si impara

I giochi influiranno davvero sull'apprendimento solo quando diventeranno un elemento significativo dell'esperienza scolastica. Ci sono un paio di modi in cui questo può avvenire: con i giochi detti *bounded*, in cui uno gioca e finisce (per esempio un gioco di strategia in cui si può vincere) e con l'uso dei principi della progettazione dei giochi nella ristrutturazione dell'apprendimento.

Oggi un nuovo ambito di ricerca sta aumentando la nostra conoscenza di entrambe le soluzioni. Per esempio, scienziati dell'Education Arcade del Massachusetts Institute of Technology in collaborazione con gli sviluppatori del gioco di alfabetizzazione finanziaria *Celebrity Calamity* hanno dimostrato che un gioco bounded può essere propedeutico all'apprendimento formale in aula. L'esperimento ha riguardato due sequenze di apprendimento: una in cui gli studenti hanno prima giocato e poi ascoltato una lezione, e una in cui questa sequenza è stata invertita. I ricercatori hanno trovato che i ragazzi che seguivano prima la lezione non sapevano a che cosa prestare attenzione, mentre quelli che aveva-

Cortesia E-Line Media (*scene fumetto*, cortesia Play (*bambini*)

Nel gioco Never Alone una bambina Inupiat cerca di fermare Blizzard Man, versione antropomorfa di una tempesta basata sui racconti tradizionali delle popolazioni indigene dell'Alaska. Sopra, l'immagine di destra mostra un bozzetto del videogioco.

no prima fatto una partita al gioco erano più motivati e sapevano contestualizzare meglio le informazioni.

Gli insegnanti che sono cresciuti con i giochi sono particolarmente adatti a integrare il gioco con il metodo di insegnamento. Per esempio, in Texas due insegnanti, frustrati dall'odio dei loro alunni per la storia, hanno sviluppato *Historia*, un programma scolastico per questa materia pensato per le scuole medie e ispirato al videogioco *Civilization*. Lavorando su carta, gruppi di studenti si sono messi alla guida di civiltà di fantasia in competizione (e a volte in lotta) con i grandi imperi dell'antichità. Gli studenti hanno effettuato ricerche in storia per capire meglio in che modo le loro decisioni possono incidere sulla potenza economica, militare e culturale della loro civiltà. Se all'inizio genitori e amministrazione scolastica hanno opposto qualche resistenza, tutto si è risolto quando i punteggi dei test hanno iniziato a migliorare. Al momento a E-Line stiamo lavorando a una versione digitale di *Historia* che testeremo questa primavera e rilasceremo questo inverno.

Come abbiamo scoperto, per mettere a punto un buon videogioco è necessario anche considerare un insieme complesso di abilità di ordine superiore: pensiero analitico e olistico, capacità di mettere alla prova e dimostrare ipotesi, creatività e capacità di collaborare con i propri pari e superiori. Proprio per questo il Media Lab del Massachusetts Institute of Technology ha sviluppato il linguaggio di programmazione Scratch, che permette ai bambini di costruirsi i primi giochi già alla scuola materna, mentre Microsoft ha sviluppato uno strumento simile chiamato Kodu. Inoltre sempre più scuole superiori e università offrono corsi dedicati a strumenti come Unity, Flash, Java, usati professionalmente per creare giochi.

Il nostro contributo come E-Line è *Gamestar Mechanic*, in collaborazione con MacArthur Foundation e Institute of Play, un ente no-profit di New York. Si tratta di un gioco per piattaforma Mac o PC destinato ai ragazzi dagli 8 ai 14 anni, in cui i giocatori, da soli o in gruppo, imparano le basi del game design aggiustando giochi «difettosi». C'è anche un sito web dove pubblicare *post*, collaborare con il resto della *community*, scrivere recensioni, riflettere sulle proprie idee e discutere di scelte di progettazione. Dal lancio nell'autunno del 2010 a oggi, oltre 6000 scuole e iniziative doposcuola hanno adottato *Gamestar Mechanic*; ci hanno giocato ragazzi di oltre 100 paesi, per un totale di oltre 15 milioni di partite e 500.000 giochi originali pubblicati *on line*.

Molti progettisti di giochi sono impegnati anche ad adattare alcuni giochi commerciali per l'uso in aula. *SimCityEdu*, per esempio, è una versione del noto videogioco di simulazione *SimCity* pensato per il mondo della scuola e creata grazie a un accordo tra Bill & Melinda Gates Foundation, MacArthur Foundation, Electronic Arts (una delle maggiori società nel campo dei videogiochi), Entertainment Software Association, Institute of Play, l'editore Pearson e l'Educational Testing Service (organizzazione no-profit che negli Stati Uniti gestisce il SAT, il test attitudinale richiesto dai college statunitensi).

Anche l'azienda Valve ha adattato per l'uso nelle scuole un suo prodotto di successo, *Portal*, in cui il giocatore viene catapultato in un misterioso laboratorio dove deve risolvere una serie di enigmi e quiz per sopravvivere. La nuova versione si chiama *Teach with Portals*, ed è stata progettata per rendere «interessanti e divertenti fisica, matematica, logica, ragionamento spaziale, studio delle probabilità e problem solving».

L'insegnamento nascosto

Sarà difficile che i ragazzi accettino di passare il proprio tempo libero davanti a un ipotetico *Call of Duty: Algebra*. Eppure siamo convinti che ci sia un pubblico enorme interessato a giochi che esplorano temi impegnativi e aprono nuovi orizzonti, a patto che siano realmente ottimi giochi.

Ci sono precedenti in altri mezzi di comunicazione. Nel cinema, per esempio, Participant Media ha prodotto film di successo che «stimolano e accelerano il cambiamento sociale», come *Good Night and Good Luck*, *Syriana* e *Lincoln*.

Crediamo che lo stesso approccio possa funzionare per i giochi. Molto spesso i *game designer* sono padri e madri di famiglia che preferirebbero vedere la propria professionalità al servizio delle nuove generazioni piuttosto che lavorare all'ennesimo sparatutto da 50 milioni di dollari.

Da noi a E-Line, il primo progetto importante in questo campo è una collaborazione con il Cook Inlet Tribal Council, una delle prime organizzazioni di assistenza sociale degli indigeni dell'Alaska, che ha anche lanciato la prima casa di videogiochi statunitense di proprietà indigena, Upper One Games. Insieme stiamo sviluppando un vero e proprio genere – la narrazione culturale basata sul gioco – che enfatizza il patrimonio culturale e l'antica saggezza tramandata di generazione in generazione. Il primo gioco che lanceremo sarà *Never Alone* (*Kisima Ingittchuna*), un'avventura dinamica in cui il giocatore si identifica con una giovane Inupiat che lotta per la propria sopravvivenza. Insieme alla sua fedele volpe, il giocatore deve vincere la paura e superare vari osta-

Cortesia E-Line Media

coli in un paesaggio artico bellissimo ma spietato. Il gioco è strutturato in una serie di storie collegate tra loro, raccontate dagli anziani ai più giovani; sia la narrazione sia l'essenza della dinamica di gioco mirano a sottolineare come l'interdipendenza, l'adattamento e la resilienza siano cruciali per sopravvivere in circostanze difficili. *Never Alone* sarà disponibile sia per *console* (Sony PlayStation e Microsoft Xbox) sia per PC e Mac.

Finora però l'esempio migliore di un videogioco che supera il confine tra commerciale ed educativo resta sicuramente *Minecraft*. Mai visto nulla di simile nella mia carriera: ideato da un programmatore svedese, Markus «Notch» Persson, *Minecraft* è ormai un fenomeno globale con oltre 25 milioni di giocatori, per la maggior parte preadolescenti. Il gioco permette di spostarsi liberamente in una realtà virtuale e di costruire veri e propri mondi, come con i Lego, da soli o con altri. In modalità «Sopravvivenza», il giocatore deve costruirsi un riparo prima che faccia buio ed esca-

Per cogliere tutto il potenziale educativo del gioco dovremo occuparci delle buone e delle cattive notizie. Molti genitori, insegnanti e decisori politici hanno forti riserve

no i cattivi; per riuscirci deve trovare le risorse necessarie (*mine*) e costruirsi strumenti (*craft*). Una volta al sicuro (oppure giocando in modalità «Creativa», cioè senza nemici) il giocatore può costruire qualsiasi cosa. Basta un giro su YouTube per vedere quello che alcuni giocatori hanno realizzato: ci sono modelli di quasi ogni costruzione iconica mondiale, dalla Torre Eiffel al Taj Mahal. Il mio preferito è la ricostruzione della Città Proibita di Pechino, per la quale sono stati impiegati quasi 4,5 milioni di blocchi, con tanto di ottovolante per fare un giro panoramico.

Immersivo e creativo, *Minecraft* è un'ottima piattaforma per approfondire un'infinità di temi diversi. Di recente E-Line ha collaborato con Google, California Institute of Technology, TeacherGaming (co-fondata da Joel Levin, insegnante di una scuola privata di New York che ha usato *Minecraft* in aula quasi da subito, guadagnandosi presto un seguito globale con il soprannome di Minecraft Teacher) e uno dei più noti *modder* (gli appassionati che modificano videogiochi) di *Minecraft*, Daniel Ratcliffe, per sviluppare *qCraft*, una nuova versione (o meglio, una *mod*) che offre al giocatore una prima incursione nel bizzarro mondo della meccanica quantistica.

Per esempio, per esporre il concetto di dipendenza tra osservatore e osservabile in *qCraft* i blocchi cambiano forma e colore a seconda di chi li guarda e da quale direzione. I blocchi *entanlged* sono collegati in modo inestricabile anche se si trovano molto distanti gli uni dagli altri. Quelli in sovrapposizione, infine, sono più cose allo stesso tempo.

Lo scorso novembre Levin ha spiegato qual è l'obiettivo del progetto in un post sul blog di *qCraft*: «Quando i bambini di sette anni di oggi si laureeranno, la meccanica quantistica potrebbe essere ormai diventata una banalità... I computer che usano q-bit invece di bit saranno in grado di affrontare alcuni dei problemi più difficili in campi come medicina, ingegneria aerospaziale, statistica e molto altro ancora... Siamo fermamente convinti che quando qualcuno che da giovane ha giocato a qCraft incontrerà di nuovo questi difficili concetti ne avrà una comprensione migliore e più intuitiva».

La prossima mossa

Per cogliere tutto il potenziale educativo del gioco dovremo occuparci delle buone e delle cattive notizie. Al momento molti genitori, insegnanti e decisori politici hanno forti riserve sul valore che possono avere i videogiochi.

A preoccuparli è soprattutto la violenza: un videogioco violento istiga un comportamento violento anche nel mondo reale? I pareri sono opposti. L'industria del gioco fa notare che paesi come Giappone e Corea del Sud sono grandi consumatori di giochi violenti e vantano tassi tra i più bassi al mondo riguardo all'uso criminale di armi da fuoco, inoltre cita vari studi che mostrano che, sebbene i giochi violenti potrebbero favorire il comportamento aggressivo a breve termine, non c'è alcuna correlazione con il tipo di aggressività, per esempio, di chi prepara una strage a scuola. Molti genitori fanno invece affidamento a ricercatori che hanno rilevato collegamenti tra giochi e comportamento violento. Altri sottolineano che, a rigor di logica, se un gioco può avere un effetto positivo sull'apprendimento può sicuramente avere anche un effetto negativo.

Il fatto è che il comportamento violento è un problema complesso che dipende da fattori ambientali e biologici. Dobbiamo definire un programma di ricerca che studi l'impatto dei giochi in diversi contesti e in modo obiettivo. Questo aiuterebbe industria del settore, decisori politici, genitori e insegnanti, ma anche forze dell'ordine, psicologi e psichiatri, a massimizzare i benefici e minimizzare gli svantaggi di questo strumento.

Sempre più genitori sono preoccupati anche dal tempo che i figli passano con i videogiochi. L'uso dei media digitali è come il consumo del cibo: è importante seguire una dieta bilanciata, e la dieta di ciascuna persona è differente. Più i genitori sono informati e coinvolti, meglio sarà per i ragazzi. Se mamma e papà giocano con i figli diventeranno osservatori migliori e capiranno al volo se i figli stanno imparando a programmare in *Minecraft* o sono al cinquantesimo duello mortale in *Hunger Games* (una mod di *Minecraft* ispirata alla trilogia di Suzanne Collins). Anche un approccio innovativo al game design sarà di aiuto: i giochi possono essere ottimizzati per concludersi in cicli più brevi, o includere attività reali, come l'esercizio fisico registrato con un accelerometro.

Nei prossimi decenni tutto quello che riguarda i videogiochi sarà amplificato. I progressi di tecnologia e design renderanno i giochi sempre più realistici, fantastici e pervasivi. Vedremo le logiche del gaming in strumenti per la realtà virtuale di massa, *wearable computing* e oltre. Le nuove tecnologie renderanno possibili nuove applicazioni dei giochi per il bene della società, ma probabilmente faranno preoccupare ancora di più i genitori e i decisori politici. Ecco perché è importante dare ai videogiochi tutta l'attenzione che meritano, da subito. ■

PER APPROFONDIRE

Motivating Children to Learn Effectively: Exploring the Value of Intrinsic Integration in Educational Games. Habgood M.P.J. e Ainsworth S.E., in «Journal of the Learning Sciences», Vol. 20, n. 2, pp. 169-206, 2011.

Our Princess Is in Another Castle: A Review of Trends in Serious Gaming for Education. Young M.F. e altri, in «Review of Educational Research», Vol. 82, n. 1, pp. 61-89, marzo 2012.

Digital Games for Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. Clark D. e altri, SRI International, agosto 2013. **www.sri.com/sites/default/files/brochures/digital-games-for-learning-exec-summ_0.pdf.**

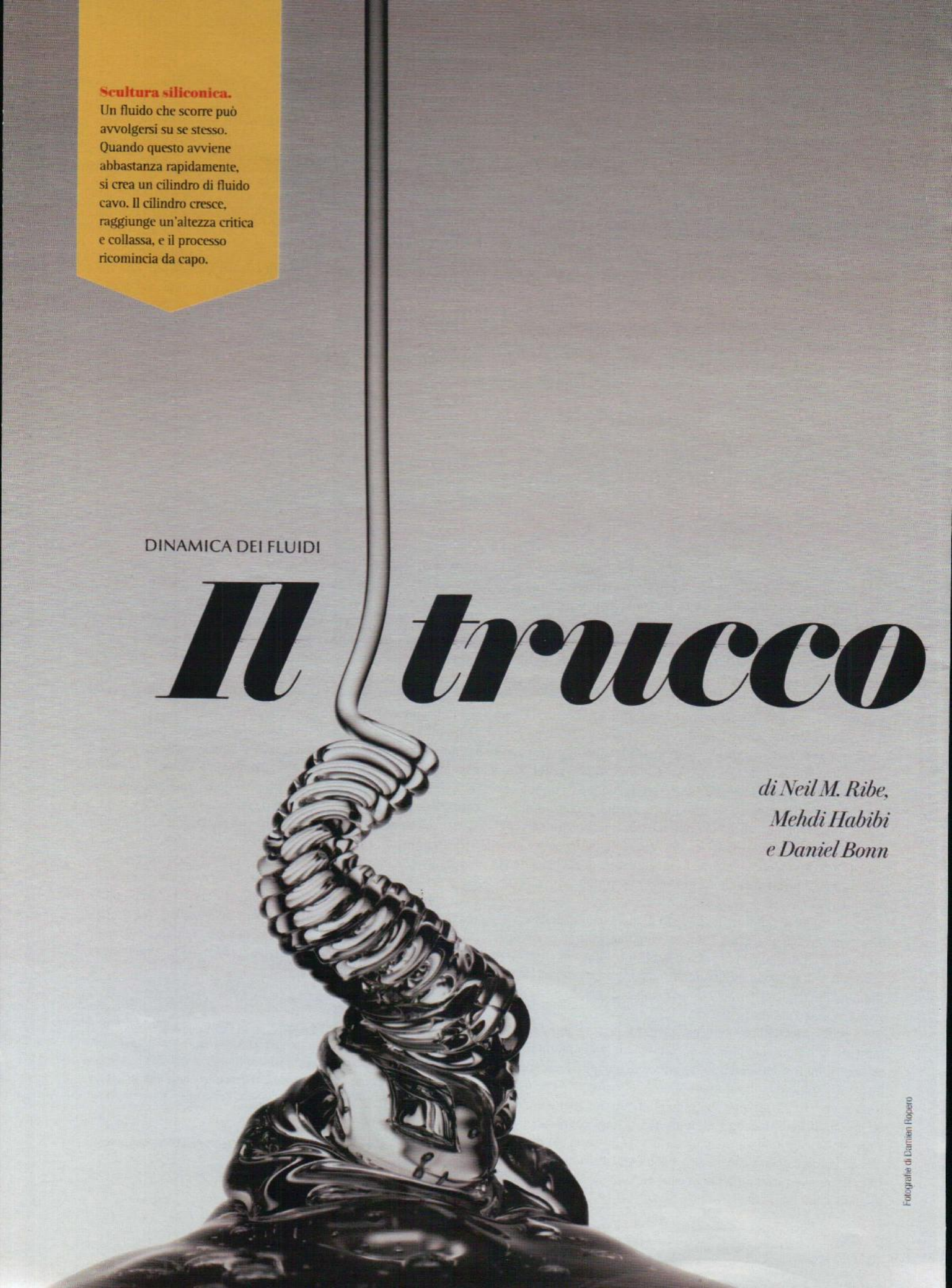
L'istruzione è per gli Angry Birds. Vesterbacka P., in «Le Scienze» n. 542, ottobre 2013.

Scultura siliconica. Un fluido che scorre può avvolgersi su se stesso. Quando questo avviene abbastanza rapidamente, si crea un cilindro di fluido cavo. Il cilindro cresce, raggiunge un'altezza critica e collassa, e il processo ricomincia da capo.

DINAMICA DEI FLUIDI

Il trucco

di Neil M. Ribe, Mehdi Habibi e Daniel Bonn



Fotografie di Damien Rogero

Neil M. Ribe è un fisico specializzato in meccanica dei fluidi e fisica dell'interno della Terra. È direttore del laboratorio FAST di Orsay, in Francia. I suoi altri interessi comprendono la storia della scienza, in particolare dell'ottica e della teoria dei colori.

Mehdi Habibi è *visiting scientist* al Dipartimento di fisica dell'Università di Amsterdam, e prima è stato professore all'Istituto di studi avanzati per le scienze di base a Zanjan, in Iran.

Daniel Bonn è un fisico sperimentale che lavora sulla meccanica dei fluidi. Durante parte della ricerca descritta in questo articolo, è stato ricercatore del CNRS all'Ecole Normale Supérieure di Parigi, per la parte restante è stato professore all'Università di Amsterdam.

del filo

Si avvolgono su se stessi, dondolano, si piegano, serpeggiano. Sottili fili di miele, olio e altri liquidi viscosi riescono a fare cose che i fisici non hanno ancora capito del tutto

IN BREVE

Scorrendo su una superficie, fluidi viscosi come il miele si avvolgono a elica formando minuscoli canestri. Solo negli ultimi anni i fisici hanno analizzato questo processo e la sua inaspettata complessità.

I possibili modi in cui avviene l'avvolgimento sono quattro, e dipendono dal bilancio delle forze gravitazionali, inerziali e di attrito sul flusso discendente. In fluidi meno viscosi si osservano altri tipi di avvolgimento, come il ripiegamento.

Fenomeni anomali, come le onde spiraliformi di bolle e la «cucitura», che si verifica quando il flusso del fluido e la superficie sono in moto relativo come nell'action painting del pittore Jackson Pollock, devono essere ancora compresi del tutto.

Se a colazione vi piace spalmare il miele sul pane tostato, siete pronti per uno degli esperimenti più semplici e strabilianti della fisica dei fluidi. Immergete un cucchiaino nel vasetto del miele, estraetelo e mantenetelo verticale, diversi centimetri sopra la fetta. Il sottile flusso di miele in caduta non finisce direttamente sul pane: forma una struttura elicoidale che gira su se stessa. Alla fine degli anni cinquanta la somiglianza con una bobina di filo arrotolata ha indotto i primi ricercatori che si sono occupati di questo fenomeno, George Barnes e Richard Woodcock, a chiamarlo «effetto bobina» dei liquidi (in inglese *rope-coil effect*).

Questo fenomeno ci ha affascinato per lungo tempo, ma non avevamo mai trovato l'opportunità di studiarlo fino a dieci anni fa, quando Ribe e Bonn avevano scoperto il loro comune interesse durante un seminario scientifico a Parigi. All'epoca, Bonn collaborava con l'Istituto di studi avanzati per le scienze di base di Zanjan, in Iran. Quindi, abbiamo invitato Habibi e diversi altri scienziati che allora lavoravano a Zanjan, come Ramin Golestanian, Maniya Maleki, Yasser Rahmani e Seyed Hossein Hosseini, a completare il gruppo.

Insieme abbiamo sviluppato una versione controllata dell'esperimento della colazione, usando oli siliconici al posto del miele, visto che questi oli presentano un'ampia gamma di coefficienti di viscosità. La viscosità misura la compattezza di un fluido, cioè la sua resistenza al flusso a causa dell'attrito interno. Con il nostro apparato si cambiano le condizioni del flusso (come la velocità con cui il fluido scorre verso il basso e l'altezza da cui cade) e si osserva come influenzino la frequenza dell'avvolgimento, cioè con quale velocità la colonna discendente del fluido si avvolge su se stessa.

Quando abbiamo iniziato il nostro studio ci aspettavamo che le condizioni sperimentali determinassero soltanto l'esistenza o la scomparsa dell'avvolgimento. Dunque non eravamo preparati all'imprevista ricchezza del comportamento che osservavamo. Per esempio, se la portata del flusso è bassa, aumentando l'altezza di caduta del fluido si rallenta il suo avvolgimento. Invece con un flusso più intenso avviene il contrario: all'aumentare dell'altezza di caduta, anche la frequenza di avvolgimento cresce rapidamente. Inoltre, quando l'altezza di caduta viene fissata a un certo valore, l'avvolgimento della corda salta avanti e indietro in modo apparentemente casuale tra due stati di frequenza diversa.

Parallelamente abbiamo elaborato un modello matematico per identificare i principali meccanismi in azione. Il punto di partenza erano le leggi di Newton della dinamica scritte in una forma appropriata per un sottile filo di fluido, la cui lunghezza è molto maggiore del suo diametro. Due forze principali agiscono su ogni porzione del filo: la trazione verso il basso dovuta alla gravità e la forza di viscosità interna o attrito. Il filo può deformarsi in tre modi distinti (allungandosi, flettendosi e avvolgendosi), e a ciascuno è associata una forza viscosa che gli si oppone. La forma assunta dal filo dipende dall'intensità relativa di tutte queste forze e dall'inerzia del fluido, cioè dalla massa moltiplicata per l'accelerazione. In questo caso la tensione superficiale, importante per molti altri flussi di liquidi, sembra avere un ruolo minore.

Ballare il twist

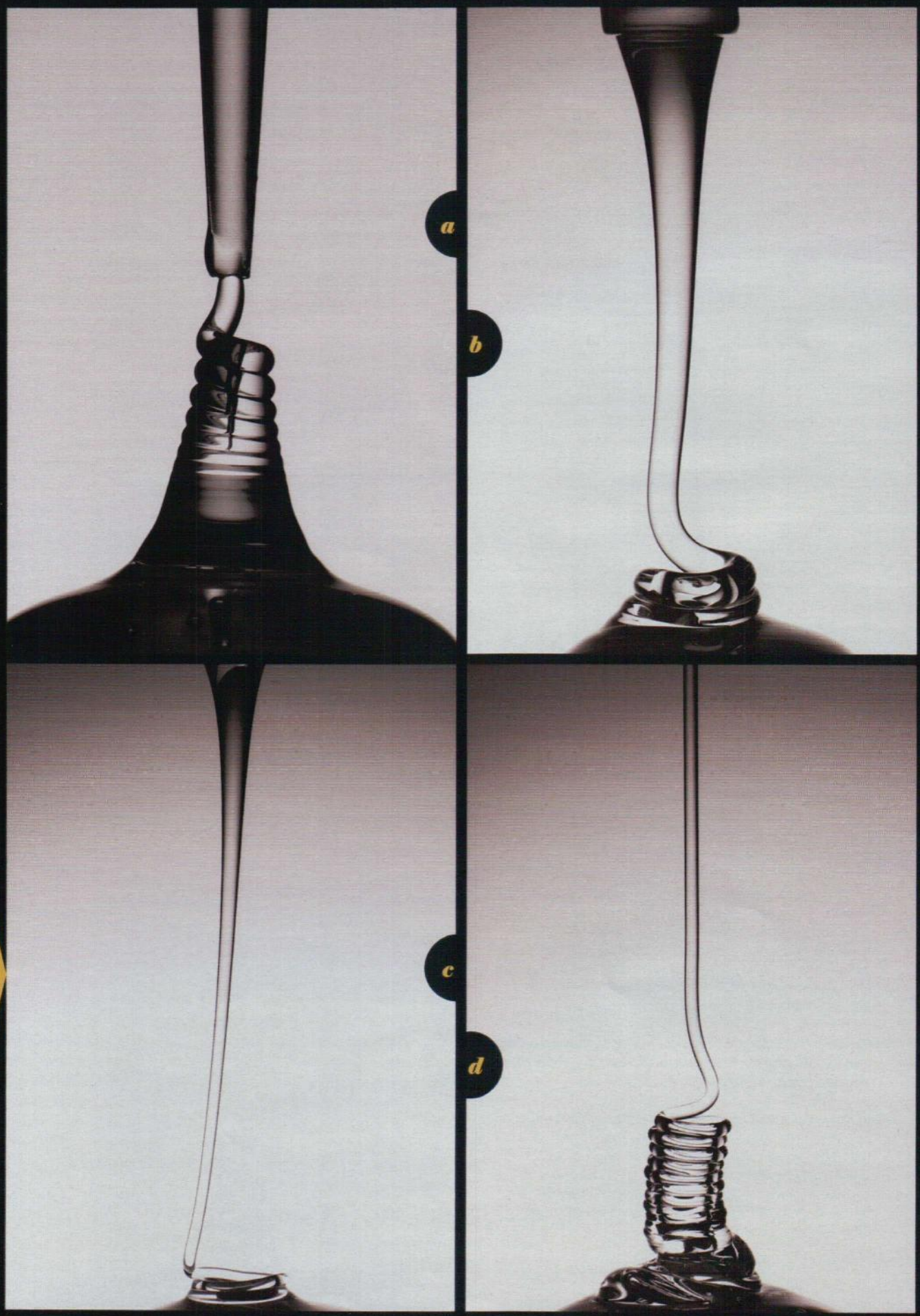
Flussi di liquidi viscosi in caduta possono avvolgersi in quattro modalità diverse secondo il bilancio delle forze di gravità, di inerzia e di attrito, o viscose. In questi esempi gli autori hanno depositato olio siliconico su un piano di metallo di altezza variabile. Il fluido ha un diametro di 0,7 millimetri e scorre a 0,23 millilitri al minuto. Oli con questa viscosità (100.000 centistokes, o cSt) impiegano un paio di minuti per svuotare un cucchiaio. Per confronto, l'acqua alla temperatura ambiente ha una viscosità pari a 1 cSt; il miele 10.000 cSt.

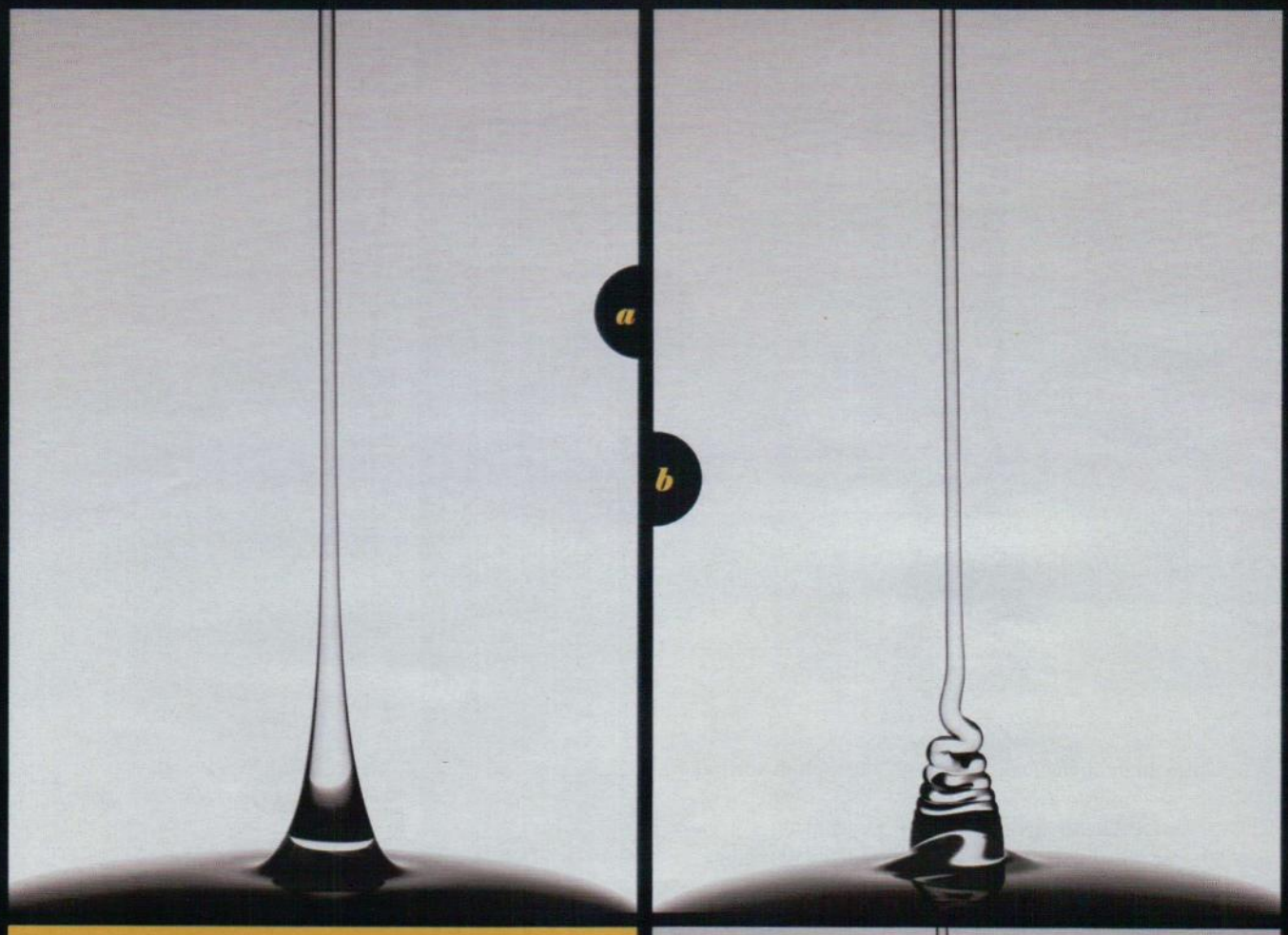
a) Modo viscoso. Quando cade da un'altezza limitata (tra 4 e 8 millimetri), il filo si comporta come il dentifricio spremuto lentamente da un tubetto. Il fluido si avvolge così lentamente che la gravità e l'inerzia sono trascurabili rispetto alle forze viscose. La forza viscosa dominante è quella che resiste alla flessione.

b) Modo gravitazionale. Per altezze comprese tra 1,5 e 7 centimetri bisogna tenere conto della gravità. Il filo ha una struttura divisa in due parti, con una lunga coda in alto e un avvolgimento più corto in basso. Nella coda, la gravità bilancia la resistenza viscosa all'allungamento, mentre nell'avvolgimento bilancia la resistenza viscosa al piegamento. Il bilancio delle forze nella coda fa sì che la coda stessa si comporti come una catena sospesa che viene tirata lateralmente per la sua estremità inferiore.

c) Modo a pendolo. Per altezze comprese tra 7 e 12 centimetri, la coda oscilla avanti e indietro come un pendolo un po' particolare, perché la massa è diffusa e non concentrata in un unico peso sospeso. Per molti valori dell'altezza la coda non può oscillare liberamente, dato che il suo moto è diretto al fondo dalla formazione di una bobina. Ma per alcune altezze la frequenza imposta coincide con la frequenza naturale del pendolo, una situazione autorinforzante chiamata «risonanza». La coda dunque oscilla lungo una traiettoria circolare.

d) Modo inerziale. Oltre i 15 centimetri la coda è quasi perfettamente verticale, perché l'avvolgimento non esercita più una trazione laterale significativa su di essa. Nella bobina la forza viscosa che resiste al piegamento è bilanciata quasi del tutto dall'inerzia, mentre la gravità ha un'influenza minore.


a
b
c
d



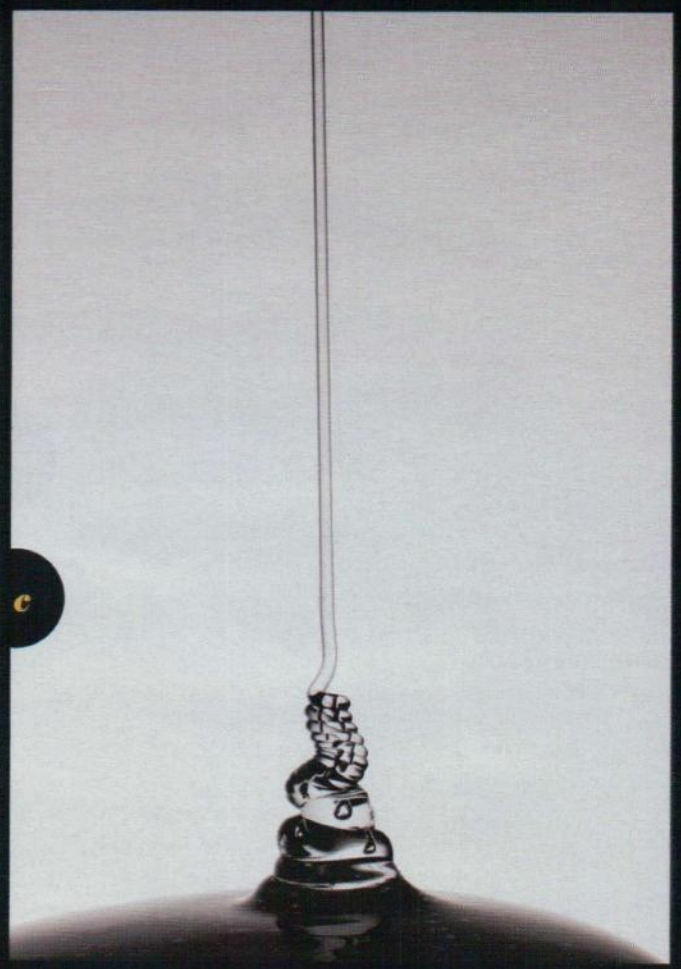
Oltre il semplice avvolgimento

Fluidi più scorrevoli, al contrario di quelli viscosi, possono fare molto più che avvolgersi attorno a loro stessi. In questi esempi gli autori hanno usato oli con viscosità compresa tra 400 e 6000 cSt, più scorrevoli del miele ma più viscosi dell'acqua.

a) Flusso di stagnazione. Se la viscosità è relativamente bassa, l'altezza di caduta è limitata e la velocità del flusso è elevata, il fluido cade verticalmente e si diffonde uniformemente in tutte le direzioni sul piano. Queste condizioni caratterizzano i fluidi che incontriamo nella vita quotidiana, come l'acqua e l'olio d'oliva. Anche questi fluidi possono però arrotolarsi nelle giuste condizioni. Se si versasse olio d'oliva da un'altezza di 10 centimetri a 1 millilitro ogni 40 minuti, si avvolgerebbe.

b) Ripiegamento rotatorio. Il filo si ripiega su se stesso periodicamente mentre l'intera struttura ruota intorno a un asse verticale, provocando un apparente attorcigliamento.

c) Superavvolgimento. Il termine tecnico «superavvolgimento» indica ciò che succede a un filo del telefono attorcigliato: sulla struttura già strettamente avvolta su se stessa si osserva un avvolgimento secondario di dimensioni maggiori. Nel caso dei fluidi, il flusso discendente crea un cilindro cavo, che a sua volta si attorciglia. L'avvolgimento secondario è più lento, e avviene a un decimo della velocità dell'avvolgimento primario.



Onde di bolle, a forma di spirale

Abbiamo scoperto questa figura per caso in esperimenti con un olio siliconico ad alta viscosità (30000 cSt) con un'elevata velocità di flusso (0,14 millilitri per secondo) e ridotta altezza di caduta (3 o 4 centimetri). Le spirali avevano sempre cinque rami, che si formano perché il centro dell'avvolgimento non è fisso ma si muove attorno a una propria orbita circolare, creando punti di intersezione tra anelli successivi del rocchetto in cui le bolle d'aria vengono facilmente intrappolate. La posizione di questi punti si sposta lentamente lungo un cerchio mentre le bolle che si sono già formate vengono espulse radialmente verso l'esterno dalla diffusione del fluido sul piano. La somma di questi due movimenti produce la spirale.

La soluzione delle equazioni si è rivelata problematica. In molti manuali di fisica la condizione al contorno del sistema viene specificata, e lo studente deve determinare che cosa succede al suo interno. Invece l'avvolgimento del filo di liquido è quello che i fisici chiamano «un problema al contorno aperto», in cui la forma del contorno del sistema è parte del problema che si cerca di risolvere. Con attenzione, siamo riusciti a dimostrare che i fluidi ad alta viscosità possono avvolgersi in quattro modi distinti, ciascuno dei quali corrisponde a un diverso bilancio delle forze (*si veda il box a p. 84*).

Nuovi fenomeni

Una volta scoperte le possibili modalità di avvolgimento credevamo di aver ottenuto una conoscenza esauriente del fenomeno. Ma ci sbagliavamo: ulteriori esperimenti, effettuati in via esplorativa e senza idee preconcette, rivelarono nuovi fenomeni degni di nota.

Il primo fu l'apparizione di meravigliose onde di bolle d'aria a forma di spirale nel sottile strato di fluido che si diffonde dal filo che si avvolge (*si veda il box in questa pagina*). Queste bolle si formano quando spire consecutive del filo sono leggermente spostate l'una rispetto all'altra, e intrappolano piccole sacche d'aria. Tuttavia ancora non sappiamo perché le spirali abbiano precisamente quella forma, o perché si osservino solo per alcuni ristretti intervalli di valori di coefficienti di viscosità, velocità del flusso e altezza di caduta.

Sono stati condotti esperimenti anche con oli di silicone di viscosità molto più bassa. Dato che si avvolgono molto più rapidamente (fino a 2000 volte al secondo) abbiamo dovuto usare una videocamera ad alta velocità per filmarne il comportamento. Un fluido può avvolgersi e addirittura piegarsi in modi molto più complessi (*si veda il box a fronte*). Se è lasciato indisturbato, permane in un certo stato per un tempo indefinito; ma cambia improvvisamente stato se si dà all'apparato un colpo secco con le nocche.

In tutti gli esperimenti descritti, il sottile flusso di liquido veniva fatto cadere su una superficie stazionaria. Ma se la sorgente e il liquido si muovono l'una relativamente all'altro, possono emergere ulteriori effetti, come osservò Jackson Pollock nel suo *action painting* [movimento pittorico successivo alla seconda guerra mondiale, N.d.r] e come sanno i fabbricanti di tessuti che usano fibre polimeriche fuse.

I nostri colleghi Keith Moffatt, Sunny Chiu-Webster e John Lister, allora tutti all'Università di Cambridge, esplorarono queste condizioni usando una specie di macchina per cucire per liquidi, che estrae una fibra di fluido viscoso su una fascia orizzontale che si muove a velocità costante. Ad alta velocità, la fibra lascia una traccia rettilinea sulla fascia. Ma se la fascia rallenta si manifestano comportamenti più complessi e disomogenei come meandri, spire alternate, doppi avvolgimenti, persino una traccia a forma di zig-zag.

C'è ancora molta strada da fare prima di giungere a una piena comprensione dei fili di liquido. Innanzitutto occorre capire il meccanismo fisico responsabile delle onde spiraliformi di bolle. Perché il centro della bobina inizia a muoversi su un'orbita separata? Un altro obiettivo è la modellizzazione del complesso avvolgimento secondario che avviene nei fluidi a bassa viscosità. Intendiamo anche allargare la nostra ricerca a peculiari sistemi fisici come i liquidi complessi che reagiscono in modo anomalo alle forze applicate e i fluidi elettricamente carichi che, in presenza di campo elettrico, formano avvolgimenti alla scala dei micrometri o dei nanometri. A giudicare dall'esperienza passata, ci aspettano molte altre sorprese. ■

PER APPROFONDIRE

Liquid Rope-Coil Effect. Barnes G. e Woodcock R., in «American Journal of Physics», Vol. 26, n. 4, pp. 205-209, aprile 1958.

Painting with Drops, Jets, and Sheets. Herczynski A., Cernuschi C. e Mahadevan L., in «Physics Today», Vol. 64, n. 6, p. 31-36, giugno 2011.

Liquid Rope Coiling. Ribe N.M., Habibi M. e Bonn D., in «Annual Review of Fluid Mechanics», Vol. 44, pp. 249-266, gennaio 2012.

Chimica e fisica in cucina. Kurti N. e This-Benckhard H., in «Le Scienze» n. 310, giugno 1994.

Nuotare nella melassa. Ferris J., in «Le Scienze», n. 545, gennaio 2014.

Come leggere questo grafico

Ogni nodo rappresenta una comunità di utenti di Twitter reciprocamente collegati

La dimensione dei nodi corrisponde al numero di tweet con uno specifico hashtag (testo che indica che un tweet riguarda un determinato argomento)

1 tweet — 61 tweets

Le linee tra i nodi rappresentano collegamenti da persona a persona tra comunità

Pochi — Molti

I partecipanti alla fase iniziale (comunità che inviano i primi 30 tweet usando un hashtag) sono in **blu** e, per chiarezza, sono limitati al cerchio più interno

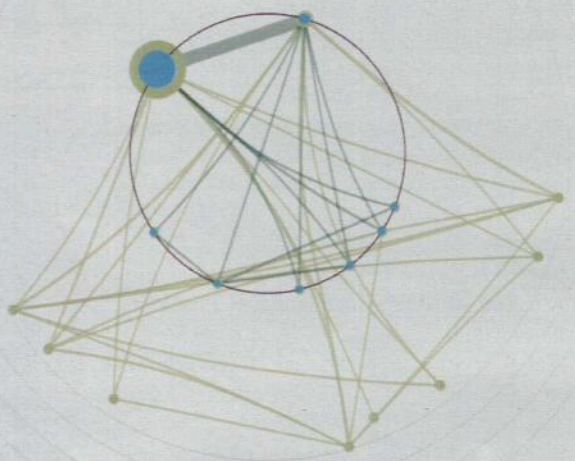
L'attività successiva, con la diffusione del meme a nuove comunità, è in **verde**

La posizione di un nodo verde sui cerchi esterni rappresenta il numero di collegamenti del nodo ad altre comunità — 40 30 20 10

Meme non virale (#ProperBand)

Inizio «a isola» che si riflette in una fine «a isola»

Dei primi 30 tweet (*in blu*) con questo hashtag, 22 sono apparsi in un'unica comunità (*nodo in alto a sinistra*). I tweet successivi con lo stesso hashtag (*in verde*) si sono diffusi in quella medesima comunità, con poche interazioni e incroci tra nodi di altre comunità. Il meme è scomparso dopo solo 65 tweet tra il campione di utenti studiato.



Le basi della viralità

Uno studio ha scoperto alcune caratteristiche dei memi virali

Che cosa permette a un meme – un'idea, una frase, un'immagine – di diventare virale? Come punto di partenza, il meme deve avere un'ampia capacità di attrarre. In questo modo può diffondersi non solo in comunità di individui che pensano allo stesso modo, ma può saltare tra una comunità e l'altra. Analizzando dati pubblici di Twitter, alcuni ricercatori hanno trovato che spesso la viralità di un meme è evidente dall'inizio. Dopo solo qualche decina di *tweet*, un tipico meme virale (come definito dai tweet usando un determinato *hashtag*) si è diffuso in numerose comunità di utenti di Twitter. Al contrario, un meme destinato a scomparire presto si diffonderà in un numero più piccolo di gruppi.

«Non ci aspettavamo di trovare un comportamento iniziale molto diverso tra i memi virali e quelli non virali», spiega Lilian Weng, dottoranda in informatica all'Università dell'Indiana a Bloomington. Ma proprio quelle differenze hanno permesso a Weng e colleghi di prevedere la viralità dei memi con un'accuratezza del 60 per cento e oltre.

John Matson

Meme virale (#ThoughtsDuringSchool):

La diffusione iniziale fa prevedere un'adozione estesa

I primi 30 tweet (*in blu*) con questo hashtag si sono diffusi in modo più uniforme attraverso dieci comunità. In una, il meme è stato molto popolare, ma si è anche diffuso a decine di nuove comunità (*in verde*), sottolineando la sua capacità di attrazione.

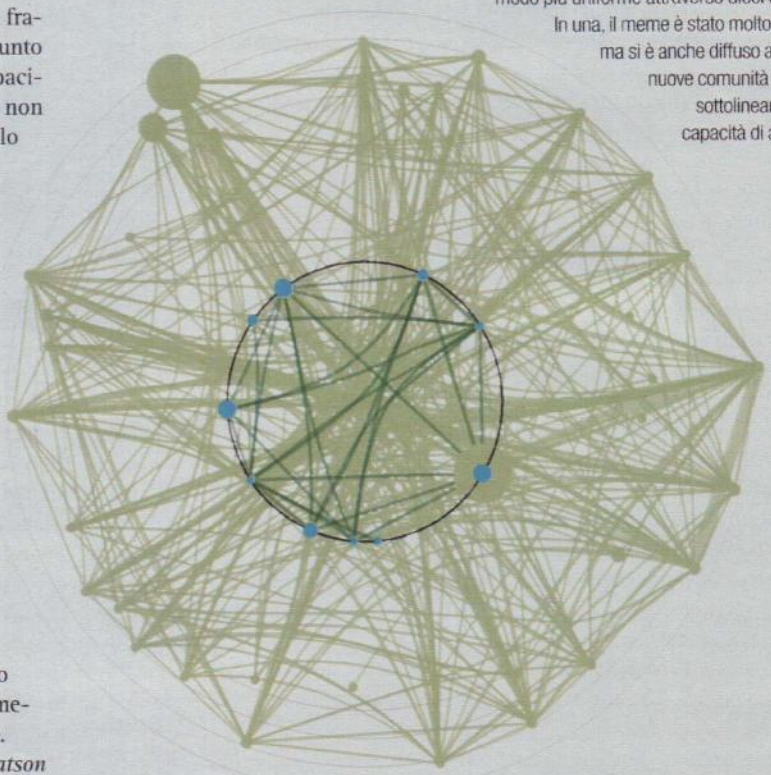


Grafico di Jan Willem Tulp. Fonte: *Virality Prediction and Community Structure in Social Networks* di Lilian Weng, Filippo Menczer e Yong-Yeol Ahn, in «Scientific Reports», Vol. 3, articolo n. 2522, 28 agosto 2013

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Lettere di primavera

Uno dei modi possibili per riconoscere la primavera è piazzarsi in una mattinata prefestiva di fronte alla casa dei Rudi. Alice, uscita presto in tuta, rientra accaldata; Rudy, uscito un'ora dopo, ritorna con gli occhi persi in un fascio di quotidiani e con la pipa in bocca; Piotr, incapace di avvitare una caffettiera appena sveglio, esce dal palazzo in vestaglia e ciabatte diretto al bar all'angolo. Con sorprendente puntualità, i tre si incrociano sempre nell'androne del palazzo. Questa volta il centro della triade è costituito da Alice che, ancora sudata, sta rigirando una busta appena estratta dalla cassetta delle lettere.

«Ci ha scritto il Supremo».

«Ma va? Il direttore? E ci ha scritto una vera lettera di carta, non una mail?», chiede Rudy, visibilmente interessato. Piotr resta visibilmente semiaddormentato.

«Già, proprio Marco, il direttore di "Le Scienze". E prima che ti prenda un coccolone te lo dico subito: non è una lettera di licenziamento. Anzi».

Alice scorre la missiva, e nel farlo mormora a mezza voce qualche parola: «Sei anni... Occasione speciale... Regalo ai lettori... Congratulazioni...».

«Treccia, la pianti con questo *strip-tease* di frasi?», sbotta il GC. «O leggi per bene, o me la fai leggere da solo».

«Shhht... Fammi finire. Ecco. Mah... Il pezzo di aprile è il settantaduesimo che scriviamo per "Le Scienze". Completiamo il sesto anno, e visto il travolgente successo della rubrica, sembra che si sia deciso di festeggiare dando un *gadget* di RM a tutti i lettori».

Persino Piotr alza un sopracciglio di sorpresa: «...Adgè? Badge? Budget?».

«Gadget: caramelle, per la precisione. Del budget parla più avanti».

«Caramelle?».

«Caramelle. Confettini piccoli e vitaminici: tre pacchettini in ogni numero in edicola».

«Tu farnetichi», bofonchia Rudy, eccitato.

«Non farnetico, leggo. Senti qua: "... Il compimento del sesto anno della rubrica sarà pertanto celebrato apponendo tre piccoli sacchetti di confetti Ghoti nell'involucro del prossimo numero. Ogni sacchetto riporterà il nome di uno dei tre Rudi a titolo di omaggio personalizzato a lettori e abbonati, e conterrà un numero diverso di caramelle, salvaguardando però la correttezza di base che prevede che il numero totale di confetti allegati alla rivista sia sempre il medesimo..."».

«Come dire una caramella da me, due da te e tre da Piotr, totale sei per ogni numero della rivista?».

«No; siccome ogni lettore è unico, anche il numero dei confetti in ogni sacchetto dovrà essere sempre diverso, a sottolineare la personalizzazione e l'unicità del regalo».

«Ma ogni numero della rivista deve veicolare lo stesso totale nei tre sacchettini. *Yawn*, saranno un bel po' di caramelle...», sbadiglia Piotr.

«Certo!», esclama Rudy entusiasta. «Davvero un bel numero!

Illustrazione di Stefano Fabbri

C'è solo da sperare che non siano caramelle di bassa qualità, non vorrei che il nome di RM fosse assimilato a...».

«No, GC. Guarda, c'è allegata l'analisi chimica e organolettica di Dario, di *Scienza in cucina*. Sono buonissime e fanno bene», dice Alice, sventolando un foglio sotto il naso di Rudy.

«La marca mi ricorda qualcosa...», bofonchia Piotr.

«Non c'è marca di dolciumi che possa esserti sconosciuta, Doc, quindi taci. Ehi, gli altri sono fogli di auguri da parte della redazione! Ci sono le firme: Giovanna, Giovanni, Claudia, Ale, Cinzia, Lucia, tutti! Che carini. Non me lo sarei aspettata, per il settantaduesimo pezzo. Forse per il centesimo, ma...».

Rudy ha gli occhi persi nel vuoto, Doc ancora le cispe perse negli occhi. Alice continua a esplorare il contenuto della busta.

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di maggio e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

In occasione del sesto anniversario della rubrica dei Rudi, il Supremo scrive ai tre annunciando pacchi di caramelle

IL PROBLEMA DI MARZO

Pur se parlavamo di folaghe, gatti, torri e pedoni, anche il mese scorso abbiamo rubato un quesito al grande Sam Loyd. Nell'ambientazione originale c'erano un contadino e sua moglie che cercavano di catturare un gallo e una gallina. Quale che sia la sceneggiatura dematematizzante, resta il fatto che, nella figura pubblicata a marzo, la torre in c4 e il pedone in a4 sono su caselle dello stesso colore, e che quando un pezzo muove, essendo proibite le mosse diagonali, cambia il colore della casella: pertanto, dopo una mossa della torre partita da c4, questa si troverà sempre su una casella di colore diverso da quella occupata dal pedone partito da a4 (a meno di mosse suicide del pedone), e quindi non riuscirà mai a catturarlo.
Identico ragionamento, a colori invertiti, per l'altra torre e l'altro pedone. Per contro, la torre in c4 si trova sul colore opposto a quello del pedone in h4; quindi al primo movimento andrà su una casella dello stesso colore di quella del pedone, e potrà perciò catturare questo pedone. Ne segue che se la torre in c4 si dedica alla caccia del pedone in h4, mentre la torre in g4 punta al pedone in a4, avranno alla fine partita vinta.

«E infine... Sì, eccolo. Il foglio dell'economato, che sottolinea il difficile momento di crisi, e prega di fare in modo che il totale di caramelle da donare sia il più basso possibile, per ovvie ragioni di costi. Con nota a margine di pugno del Supremo, che ci prega di dargli una mano nel calcolare tutte le combinazioni necessarie, il numero totale dei confettini, e...».

«Ghoti, hai detto?», ripete Doc, mentre bussa alla guardiola dell'usciere, da dove esce un lussurioso e intenso profumo di caffè: «Eppure...».

«Ma avete idea di quante caramelle parliamo?», mormora trasognato Rudy. «Detto *N* il totale per numero, moltiplicato per la tiratura...».

«Davvero un grande onore, eh, GC?».

«Perdinci se lo è! E i nostri nomi su ogni sacchettino... Avessimo avuto un minimo di preavviso mi sarei preparato a dovere, saprei già di quante caramelle stiamo parlando, e forse avrei potuto organizzare un viaggio...».

Alice rigira la busta: «Non è che è colpa del postino? Fammi controllare le date di arrivo e di spedizione».

Dalla guardiola del portiere ricompare Piotr, con una tazzina fumante in mano e un'espressione vagamente più sveglia: «GC, ho paura che c'entri George Bernard Shaw... e se ho ragione, la cosa potrebbe non piacerti».

Rudy fissa l'amico, mentre Alice continua a rigirare fra le mani lettera e busta.

«E perché mai non dovrebbe piacermi Shaw, ammesso che c'entri qualcosa con la nostra gran festa?».

«Vedi, Shaw propugnava una riforma della lingua inglese, perché non c'è una relazione accettabile tra l'inglese scritto e la maniera di pronunciarlo. Per dimostrarne l'incongruenza coniò la parola *ghoti*, dicendo che bisognava pronunciare il gruppo "gh" iniziale come in *laugh*, la "o" centrale come in *women*, e il gruppo "ti" finale come in *nation*...».

«Doc, pensi davvero che possa interessarmi la fonetica inglese in un momento come questo? Mentre tutta la nostra *nation* sta per essere invasa da una valanga di doni con i nostri nomi sopra?».

Alice ha la voce un po' rotta, ma interviene: «Però è proprio strano, no? Sei anni, 72 numeri... Non è una ragione un po' deboluccia, per cotanto festeggiamento?».

E, prima che Rudy possa ribattere, Piotr continua: «Ma seguimi, GC... "gh" in *laugh* suona come le nostra "f", la "o" in *women* come la nostra "i", e la "ti" di *nation*...».

«Ma insomma! "F", poi "i", poi "sc", più o meno... E allora?».

«Ecco – deglutisce Piotr – appunto. F-i-sc, insomma *fish*, pesce. *Ghoti* significa pesce».

«Inoltre, GC – sospira Alice – tutti fogli di questa lettera, senza eccezione alcuna, sono datati 1° aprile 2014».

«Quindi non è colpa del postino, sono proprio stati scritt...». Barba, pipa e labbra si immobilizzano. Gli occhi saltano veloci verso Alice e verso Piotr, e muti si scambiano le ovvie conferme.

«Bene!», dice infine il gran matematico. «Io rientro in casa. Mi ritirerò un po' nella mia stanza. Ho bisogno di progettare una cosina per i nostri amici della redazione di "Le Scienze". E ho un anno giusto giusto di tempo, per organizzarmi al meglio».

Le trappole delle pseudoterapie

Salute e bugie
di Salvo Di Grazia
Chiare Lettere, Milano, 2014, pp. 256 (euro 13,60)

Salvo Di Grazia è noto nel Web italiano grazie al blog Medbunker, in cui da anni sfata i miti della medicina, soprattutto quelli relativi alle cosiddette «medicine alternative». Il blog ha cambiato forma, ed è diventato un bel libro, più organico del sito web perché costruito a tavolino, e guida il lettore alla scoperta delle tante trappole poste da medici, case farmaceutiche, stregoni e ciarlatani vari.

I fautori dell'omeopatia *et similia* però non potranno lamentarsi più di tanto, perché anche la medicina «ufficiale» viene presa di mira, analizzando casi interessanti di farmaci inutili, ricerche viziate (soprattutto da conflitti di interesse, ma anche da trucchi usati per «cucinare» i dati) e clamorosi episodi in cui il pubblico si è trovato a dover fare i conti con molecole non adeguatamente testate (per esempio il talidomide) o con medici irrispettosi dei codici deontologici e della dignità umana. Molti miti vengono sfatati anche riguardo ai vaccini, una delle maggiori preoccupazioni sanitarie per i genitori, giustamente spaventati dai proclami allarmanti (la famosa truffa di Andrew Wakefield: «I vaccini causano l'autismo») e circondati da sirene ipermedicalizzanti.

La seconda parte del libro è invece dedicata alle medicine alternative, e l'omeopatia ha lo spazio più ampio. In effetti, è difficile spiegare perché una teoria inventata di sana pianta poco più di due secoli fa, inconsistente con chimica, fisica e biologia, incontri così tanto favore (e produca tanti guadagni). Quel che è certo è che nei rimedi omeopatici non vi è nulla di attivo, ma solo acqua e zucchero, e che non vi sono ricerche che ne provino l'efficacia. Di per sé le preparazioni omeopatiche non sono tossiche, ma sono possibili spiacevoli conseguenze: pensare che si possa usare l'omeopatia per tutto, anche malattie gravi; un contrasto tra medico e paziente, dal momento che il primo «sa» che non c'è nulla nella pillola, e quindi in un certo senso sta «mentendo» al paziente; una sorta di «dipendenza», dovuta al fatto che la «dolcezza» dell'omeopatia è spesso usata come scusa per usarne i prodotti in ogni occasione, generando così l'illusione che si debba avere l'aiuto di una pasticca quando c'è qualcosa che non va.

Accanto all'omeopatia trovano spazio altre medicine più o meno fortunate: agopuntura, fiori di Bach, iridologia, Reiki e altro ancora. Naturalmente vengono passate in rassegna anche alcune tra le tante diete pubblicizzate su molte riviste e su innumerevoli siti web: tutte basate su ipotesi balzane e onnicomprensive, dimostrano una più o meno volontaria ignoranza della fisiologia elementare dell'organismo umano. L'ultima parte del volume è per un sottoinsieme specifico: le terapie per il cancro. Anche qui troviamo cialtroneria e creduloneria, che si innestano però sulla disperazione dei pazienti a fronte di una diagnosi spesso tragica. E che tragica lo diventa con buona certezza per le persone che si affidano a guaritori autoproclamati o mediconi «incompresi» o «boicottati» dal resto della comunità scientifica.

Sotto quest'ombrello trovano posto Di Bella, i guaritori del bicarbonato e dell'olio di scorpione, e anche il latitante Ryke Geerd Hamer, l'ex medico fondatore della famigerata Nuova Medicina Germanica. Molto spesso sono infatti medici a proporre ai propri pazienti terapie non convenzionali e senza fondamento, abusando del carisma di un camice bianco e della posizione di forza dovuta alla malattia. I trucchi usati sono molto spesso simili: video di finte guarigioni montati ad arte, certificati che apparentemente parlano di guarigione, uso concorrente e non dichiarato di terapie convenzionali, e molti altri, come Di Grazia è andato a testare in diversi siti web.

Alla fine della lettura, interessante e per alcuni versi divertente, ma sconfortante per altri, rimane sospeso l'interrogativo sul futuro: come fare per evitare che molte persone cadano preda di queste truffe? Purtroppo la semplice informazione non basta, e la risposta razionalista non è sempre efficace, anzi. Questo bel libro è una base necessaria, ma è anche necessario immaginare nuove strategie che coinvolgano formazione, ricerca, comunicazione e politica per proteggere le potenziali vittime di una malintesa libertà di cura, e prevenire gli esiti gravi per il singolo e per la società.

Mauro Capocci

Dai virus ai meteoriti, cinquanta sfumature d'apocalisse

Folgori, voci e scoppi
di Alok Jha
Bollati Boringhieri, Torino, 2014,
pp. 300 (euro 25,00)

Il genere apocalittico è una fucina di idee per la fantascienza, e uno scrittore come Alan D. Altieri ha basato la sua carriera sul genere, al punto da essere indicato come il «maestro dell'apocalisse». Nel settore delle previsione, con i piedi piantati nell'evidenza scientifica, c'è già chi ha immaginato il mondo alla scomparsa di *Homo sapiens*: Alan Weisman e il suo *Il mondo senza di noi* (Einaudi, 2008). Alok Jha, giornalista scientifico del quotidiano britannico «The Guardian», descrive 50 modi in cui il mondo, esseri umani compresi, potrebbe terminare definitivamente, dai virus letali al meteorite gigante.

Non mancano i riferimenti alle capacità distruttive dello stesso *Homo sapiens*, l'unica specie che ha il potenziale di distruggere letteralmente la Terra. Un esempio? La guerra fredda che ha segnato il Novecento, quando l'Unione Sovietica aveva addirittura un sistema automatico in grado di lanciare contemporaneamente tutte le testate atomiche in caso di caduta del Cremlino: sconfitti, ma lasciandosi dietro solo una ricaduta planetaria di polveri radioattive.

Il libro di Jha è basato su una mole impressionante di fonti scientifiche e interviste. Gli scenari distruttivi, che abbiano o meno l'uomo all'origine, rimandano anche al passato e alle paure ataviche, come appunto le folgori divine. Ma vi si trova anche la smentita, basata su prove scientifiche, di voci che spesso travalicano il regno dell'ipotesi per insediarsi in quello dei complottismi. *Folgori, voci e scoppi di tuono* rimane un libro interessante da consultare, senza necessariamente essere letto di filato, ed è un punto di partenza ideale per addentrarsi nel genere. Ricerche alla mano.

Marco Boscolo

L'immaginazione al potere sul nostro satellite naturale

Stregati dalla Luna
di Bernd Brunner
Giunti Editore, Milano, 2014,
pp. 240 (euro 13,60)

È il corpo celeste che conosciamo meglio, anche perché basta alzare il naso al cielo e si vede a occhio nudo. La Luna non abbaglia, si staglia contro il nero e ogni notte si fa trovare un po' più in là. E poi ha le sue fasi ben evidenti: a volte è piena, a volte è mezza e a volte è a spicchio. Miliardi di uomini l'hanno guardata e hanno costruito intorno a lei immagini e miti.

Ma come sarebbe stata la nostra vita senza il nostro satellite naturale? È di questo che parla, con gratitudine, l'ultimo libro dello scrittore e saggista scientifico tedesco Bernd Brunner *Stregati dalla Luna*. Dalle pareidolie a base di volti sorridenti o di musi di animali immaginari disegnati sulla superficie lunare, alle interpretazioni mitologiche e quelle fantastiche o spaventose di effetti ottici ed eclissi. Ma anche le diatribe pretelescopio sulla presenza di forme di vita lunare, e sul loro misterioso aspetto. Tutte fantasie che nel mondo occidentale svanirono di colpo nel 1969, con il primo allunaggio.

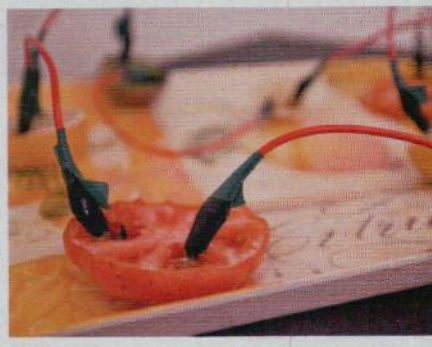
Brunner ripercorre la mitologia sulla Luna anche in culture diverse dalla nostra: esamina il «genere» della Luna, che (sorpresa) è quasi sempre maschile. Racconta gli studi che l'hanno riguardata fin dal tempo degli antichi Greci e le mappe disegnate nei secoli. Tra la scienza e le altre forme di conoscenza e di espressione umana c'è sempre stata permeabilità: a proposito di Luna, lo dimostrano i libri di Verne, dettagliati e (per i tempi) molto scientifici nelle descrizioni. O, dall'altra parte, le poesie di Erasmus Darwin, in cui si avanzavano ipotesi sulla formazione del satellite. Per cui non sappiamo come sarebbe esattamente la nostra vita senza Luna, ma è probabile che saremmo un po' meno creativi e curiosi.

Silvia Bencivelli

A Bologna, immersi nel cibo e nella scienza

Bologna e il cibo, un'attrazione fatale e reciproca, o meglio un'affinità elettiva grazie a cui la città emiliana è diventata uno dei luoghi di riferimento per la cultura gastronomica italiana, e che finalmente è indagata anche dal punto di vista scientifico.

Dal 28 marzo al 13 aprile torna *La Scienza in Piazza*, evento organizzato dalla Fondazione Marino Golinelli, in collaborazione con il Comune di Bologna, che nell'edizione di quest'anno promette un'immersione nel cibo, scientifica e non solo. La manifestazione coinvolgerà tutta la città, con



oltre 100 appuntamenti tra mostre, spettacoli, incontri, degustazioni e laboratori interattivi, alcuni dei quali potrebbero spiazzare e incuriosire, come il laboratorio per imparare a cucinare un menù a base di insetti o il corso per costruire un orto urbano verticale. Il tutto con l'obiettivo di migliorare il rapporto del pubblico con ricerca e innovazione.

Il tema di quest'anno di *La Scienza in Piazza* raccoglie in modo ideale il testimone dalla mostra *GOLA - arte e scienza del gusto*, organizzata sempre dalla Fondazione Marino Golinelli in collaborazione con la Triennale di Milano, che indaga le tante implicazioni tra cibo e piacere, e in prospettiva guarda all'Expo 2015 di Milano. Per saperne di più: www.lascienzainpiazza.it. (*cb*)

Cortesia Michele Famiglietti/Fondazione Marino Golinelli

L'eredità di Leonardo
di Stefan Klein
Bollati Boringhieri, Torino, 2014, pp. 300 (euro 25,00)

Leonardo da Vinci, il genio che non smette di ispirare

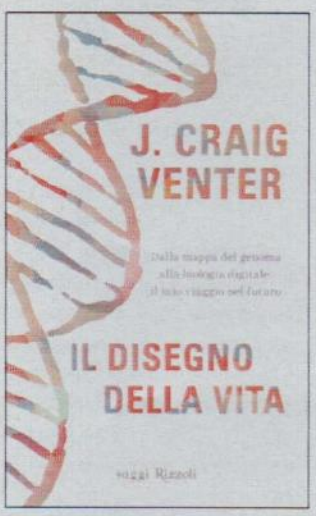
In uno testo del 1894 Paul Valery scrive che «quel che rimane di un uomo sono i sogni che leghiamo al suo nome». Il poeta francese si riferisce a Leonardo da Vinci, al genio e al suo mito, cresciuto nei secoli fino a far affermare a Sigmund Freud che si trattava di uomo «ridestatosi troppo presto dall'eclissi della ragione, mentre tutti gli altri dormivano». In questa presentazione di Leonardo è fin troppo semplice rintracciare lo spirito romantico di cui è impregnata. È però possibile considerarlo un effetto secondario, dovuto all'enorme influsso e popolarità che la sua figura ha incontrato fin dalla scomparsa avvenuta nel 1519, che non ha intaccato il valore delle sue opere e delle sue innovazioni.

Al morte del maestro, il fidato Francesco Melzi raccoglie in un baule i 10.000 fogli di appunti e disegni. Passerà i successivi cinquant'anni a ordinare e studiare gli appunti di Leonardo e a ricostruire i fili dei suoi pensieri. Sì, perché l'autore della *Gioconda* e dell'*Ultima cena*, quasi sempre in solitudine, registrava metodicamente ogni cosa che gli passasse per la testa, mettendo sul foglio una specie di flusso di coscienza lungo tutto una vita. Il figlio di Melzi non avrà la medesima devozione del padre e disperderà ai quattro venti questa sorta di ricostruzione «del cervello di Leonardo», come suggerisce il saggista scientifico tedesco Stefan Klein, causando di fatto la scomparsa di una buona metà del tesoro originale.

Eppure quei semi del pensiero di un uomo che, oltre a saper dipingere alcuni capolavori dell'arte mondiale di ogni epoca, è in grado di immaginare un futuro remoto popolato di macchine mai viste prima, strutture immaginifiche in anticipo, e di molto, sui propri tempi e prospettive mai osate, quei semi produrranno un'eredità sia tra gli artisti sia tra gli ingegneri e il pubblico.

Oggi dov'è l'eredità di quest'uomo, che non applica un metodo e quindi non si può dire scienziato, e che tuttavia è stato la più grande personalità tecnica, oltre che artistica, del suo tempo? Klein se lo chiede dopo aver ricostruito il contributo di Leonardo in tutti gli ambiti in cui si era cimentato, suggerendo che alle doti fuori dal comune che sicuramente aveva ed esercitava, si abbinava un mondo ancora vergine in ampi campi del sapere, scientifico e non. Allora forse, conclude l'autore, i Leonardo contemporanei sono nascosti agli occhi dei più in nicchie scarsamente battute e poco esplorate, ma non significa che non ci siano.

Marco Boscolo



Il disegno della vita
di J. Craig Venter
Rizzoli, Milano, 2014, pp. 284 (euro 18,00)

La vita è come un sistema informatico, parola di Venter

Nel 1993 a Bilbao, a margine di una conferenza, il premio Nobel per la medicina Hamilton Smith si avvicinò al relatore e gli confidò: «Pensavo avesse le corna». Tale era la fama di scienziato spregiudicato che già circondava Craig Venter, molto prima che divenisse globalmente popolare per la corsa al sequenziamento del genoma umano. In quegli anni Venter stava mettendo già in subbuglio la comunità scientifica con il suo innovativo metodo di sequenziamento, e quella fu l'occasione per imbarcare Smith nella sua impresa di mappare per la prima volta il genoma di un organismo vivente, il batterio *Haemophilus influenzae*, per poi lanciarsi nella competizione con il consorzio pubblico internazionale per la mappatura del genoma umano.

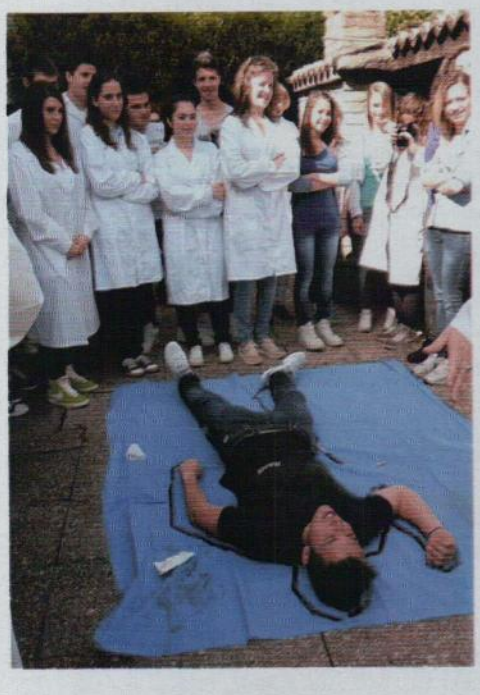
Già in quegli anni però, studiando da vicino i geni di semplici microrganismi, a Venter frullava in testa una domanda: qual è il numero minimo di geni sufficiente alla vita? In questo libro ripercorre le tappe che lo hanno portato a dare una risposta, sebbene ancora parziale, a quella domanda, dall'assemblaggio in laboratorio di un virus alla creazione della prima cellula sintetica. Ai tempi dell'annuncio, nel maggio 2010, alcuni avevano osservato che era improprio l'uso dell'espressione «vita sintetica» perché la cellula di *Mycoplasma mycoides* nata in laboratorio usava la cellula svuotata di nucleo di un'altra specie. Ma Venter liquida l'obiezione così: se voglio fare una torta, non produco in casa i singoli ingredienti, come il lievito in polvere o l'amido di mais. I componenti della vita sono importanti, ma l'essenziale è conoscere e saper maneggiare le istruzioni: il DNA è il software della vita, in grado di modificare anche l'hardware della cellula, le proteine.

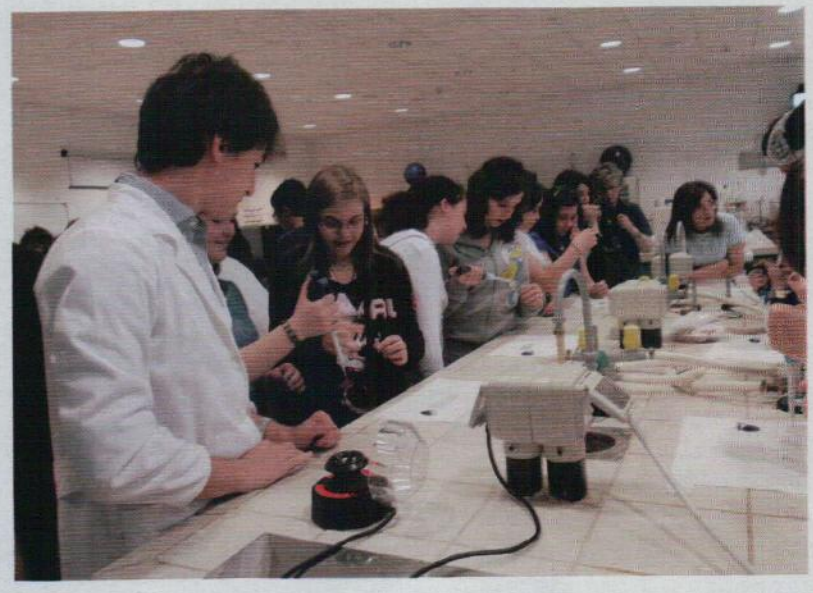
La vita insomma è un sistema informatico. E questa è la risposta che Venter dà alla domanda «che cos'è la vita?» posta da Erwin Schrödinger in una celebre conferenza del 1943 a Dublino, che ha ispirato la nascita della biologia molecolare e con cui Venter si confronta. Gli scenari che si aprono con questa concezione del vivente sono grandiosi. Possiamo cercare di affrontare la preoccupante diffusione di batteri resistenti agli antibiotici producendo fagi sintetici che li divorino. E ridurre i tempi di produzione di un vaccino da parecchi mesi a pochi giorni. Ma non basta: trasformare una sequenza genetica in codice binario ci consentirà di spedirla sotto forma di onda elettromagnetica come già facciamo oggi con qualsiasi altro tipo di dato per assemblare poi in qualsiasi luogo un essere vivente. Per adesso nell'etere Venter ha già spedito il suo genoma. Così, se vedeste spuntare le corna, siete avvisati.

Marco Motta

Per seguire virtù e conoscenza

Quarta edizione per il festival di scienza e filosofia di Foligno, il tema di quest'anno è delineato dai tre aggettivi: umano, sensibile e ignoto





Appuntamento in Umbria. Alcune immagini delle edizioni passate del Festival di scienza e filosofia che si tiene a Foligno, in provincia di Perugia, dal 2011.

Sotto l'auspicio del motto dantesco «fatti non foste a viver come bruti, ma per seguir virtute e canoscenza», la Festa di scienza e filosofia torna ad animare Foligno con il suo sguardo a tutto tondo sulla conoscenza. Il tema, come sempre ampio, è delimitato da tre aggettivi: umano, sensibile, ignoto. Quest'ultimo è il più semplice da inquadrare in un contesto plurimillenario in cui l'uomo ha cercato di stringerne i confini attraverso la razionalità.

Sensibile rimanda all'ambito fisico, al mondo degli oggetti conoscibili grazie alla mediazione dei nostri sensi. Ed è il più tipico dei contatti diretti tra scienza e filosofia attorno alla forma delle cose, alle loro qualità e, se non proprio alla bellezza, almeno all'eleganza. Per esempio quella matematica alla base del libro del mondo come ce lo ha raccontato Galileo Galilei, del quale il 15 febbraio scorso si sono celebrati i 450 anni dalla nascita.

L'umano pone il limite della conoscenza: solo attraverso i sensi e il ragionamento possiamo conoscere. È una conoscenza che ha permesso l'avanzamento delle civiltà non solo con il progresso scientifico, ma anche grazie al dialogo tra le culture. Per questo ogni occasione di confronto, specialmente in un periodo di rinnovati antagonismi su base religiosa ed etnica, appare come una pausa di riflessione.

Le giornate della Festa di Foligno si distinguono anche per questo: saper mettere a fianco di esponenti di spicco del mondo della ricerca scientifica e filosofica anche teologi e pensatori di culture diverse, alla ricerca di un terreno comune per il dialogo. Quest'anno non manca nessuna delle principali fedi (cattolicesimo, cristianesimo della chiesa valdese e ortodossa, ebraismo, induismo e buddhismo) perché la città umbra si trasformi, nell'auspicio degli organizzatori, in un reale crocevia multiculturale.

Tra gli ospiti dell'edizione 2014 Anil Seth, direttore del Sackler Centre for Consciousness Science dell'Università del Sussex, che si concentrerà sugli aspetti teorici e pratici della misurazione dello stato di coscienza; il celebre cosmologo e divulgatore John D. Barrow, che racconterà l'evoluzione dell'universo; il filosofo Nuccio Ordine, dell'Università della Calabria, specialista di Giordano Bruno e autore di un *pamphlet* intitolato *L'utilità dell'inutile* che ha aperto un dibattito internazionale sulla necessità della ricerca di base in tutti i campi del sapere.

Marco Boscolo

IV FESTA SCIENZA FILOSOFIA
virtute e canoscenza

Dove & quando:

Festa di scienza e filosofia
dal 10 al 13 aprile
sedi varie, Foligno (Perugia)
www.festascienzafilosofia.it

Cortesia Festa di Scienza e Filosofia (*tutte le foto e i loghi*)

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

L'unicità del fiocco di neve

Studiare la natura ci fa percepire livelli di bellezza altrimenti inaccessibili

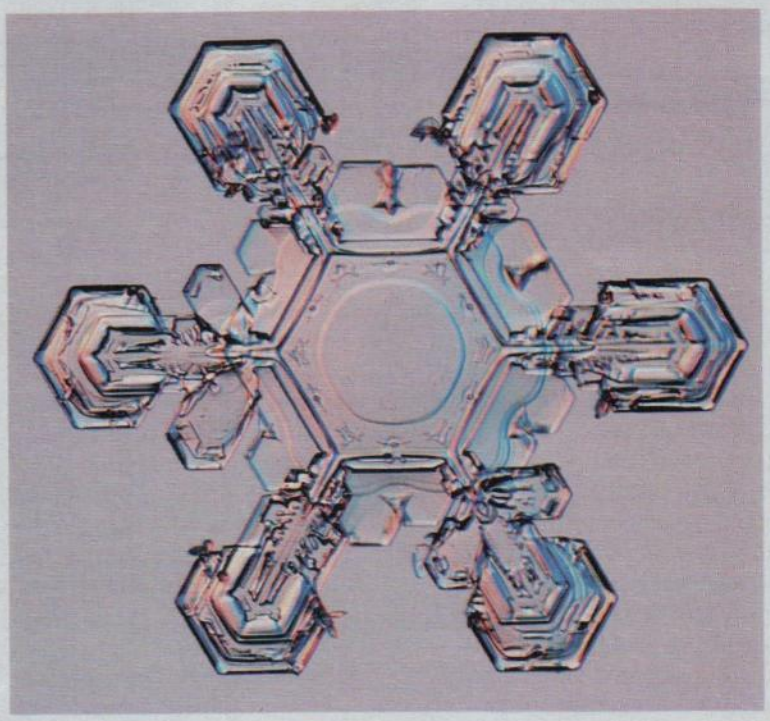
L'idea che in natura non ci siano due fiocchi di neve identici è una di quelle nozioni comuni che riceviamo, spesso da bambini, e alimentano lo stupore e la meraviglia per la complessità del mondo. Ma è davvero così o si tratta di un luogo comune fasullo? È un dubbio ragionevole: già a occhio nudo, durante una nevicata, ci accorgiamo del numero immenso di fiocchi generati, e secondo alcune stime ogni anno sul nostro pianeta cadono circa un milione di milioni di milioni di milioni di cristalli di neve. Pare intuitivamente assurdo che siano tutti differenti, ed è ovviamente impossibile controllarli uno per uno. Viene anche da chiedersi perché mai strutture composte tutte esclusivamente da molecole d'acqua dovrebbero essere differenti fra loro, se si formano nelle medesime condizioni.

Kenneth Libbrecht, professore di fisica al California Institute of Technology, ha studiato a lungo la fisica dei fiocchi di neve, raccogliendo in libri divulgativi e articoli scientifici le sue osservazioni e le sue splendide fotografie di questi cristalli, ottenute all'aperto usando una fotocamera riscaldata collegata a un microscopio e catturando gli evanescenti fiocchi su vetrini illuminati da filtri colorati per esaltare i dettagli.

Libbrecht spiega che non tutte le molecole d'acqua sono uguali: in natura una ogni 5000 contiene un atomo di deuterio al posto di uno dei normali atomi di idrogeno e una ogni 500 contiene ossigeno-18 al posto del più comune ossigeno-16. Queste molecole atipiche si dispongono a caso nella struttura cristallina e ne influenzano la formazione. Un fiocco di neve comune contiene circa 10^{18} molecole, per cui la probabilità che due normali cristalli di neve abbiano esattamente la stessa disposizione di queste molecole differenti, e che inoltre le dislocazioni (imperfezioni strutturali) che si verificano durante la crescita dei cristalli siano uguali, è inconcepibilmente piccola: anche se nevicasse ogni giorno per tutta la durata della vita dell'universo, resterebbe comunque vicinissima allo zero. L'incredibile unicità di ogni fiocco di neve in tutta la storia del mondo è dunque matematicamente plausibile, nonostante le apparenze.

Tuttavia, nota sempre Libbrecht, un cristallo di neve molto piccolo (composto da una decina di molecole) può facilmente avere un gemello perfetto, perché il numero di variazioni possibili è relativamente modesto; inoltre, se ci si accontenta di forme che appaiono sostanzialmente simili all'esame microscopico, risulta che moltissimi dei più piccoli cristalli di neve condividono la stessa forma di prisma esagonale regolare, senza le complesse ramificazioni dei fiocchi classici. L'unicità, insomma, emerge soltanto oltre un certo livello di complessità.

La diversità delle forme dei fiocchi di neve complessi è dovuta principalmente alla temperatura e all'umidità dell'aria nella quale si formano: più è alta l'umidità, più aumenta la complessità delle strutture, mentre il legame con la temperatura è meno lineare e non è ancora chiaro. A 2 gradi sotto zero si formano piastrine sottili e stelle semplici, ma basta scendere a 5 gradi sotto zero per vedere la crescita di aghi e colonne; intorno a – 15 gradi Celsius tornano piastrine e stelle, mentre a – 30 si formano sia piastrine che colonne.



Gran parte dei cristalli di neve più piccoli condivide la forma di prisma esagonale regolare, mentre le ramificazioni dei fiocchi classici emergono solo a un certo livello di complessità.

Tutto questo dettaglio è racchiuso in ogni singolo fiocco di neve: emerge soltanto grazie agli strumenti scientifici, che ci permettono di andare oltre i confini dei sensi e dell'intuizione, e grazie alla curiosità inesauribile di chi si interroga sulla struttura del mondo. Scoprirlo non uccide la poesia di una nevicata, ma anzi aiuta a percepire un livello di bellezza che altrimenti resterebbe nascosto in queste forme così eteree ed effimere.

Kenneth Libbrecht/Visuals Unlimited/Corbis

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie, OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello.*

La variabile dell'assaggiatore

Stimata la variabilità del giudizio di professionisti per vini bianchi e rossi

Ma quanto sono esperti i giudici esperti assaggiatori di vino? La frase, un po' provocatoria, richiama il titolo di un articolo (*How expert are «expert» wine judges?*) di Robert T. Hodgson, professore emerito di statistica della Humboldt State University, in California, che tra il 2008 e il 2009 ha pubblicato alcune ricerche sul «Journal of Wine Economics» in cui aveva studiato i punteggi assegnati al vino e l'affidabilità degli assaggiatori, mettendo in agitazione il mondo dei concorsi vinicoli.

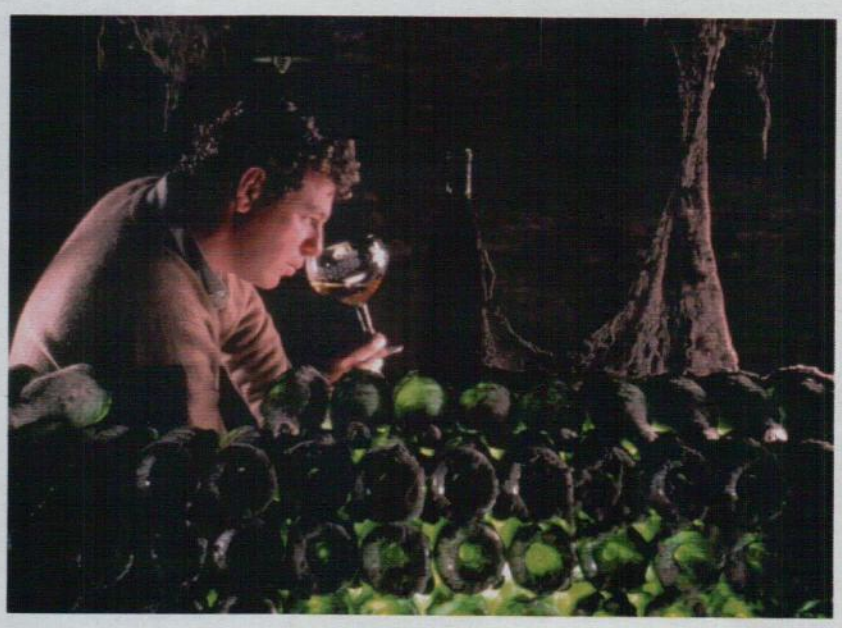
Ogni strumento di misura, per quanto sofisticato, commette qualche errore. È questo il motivo principale per cui gli strumenti vanno tarati e verificati al fine di interpretare correttamente i risultati. In più le misurazioni sperimentali vanno sempre ripetute, per poterle valutare in modo statistico. Quando gli strumenti di misura sono esseri umani, le cose si complicano, specialmente se viene chiesto loro di quantificare con un punteggio caratteristiche di «bellezza» o di «bontà» definite in modo non adeguato.

Pensate ai concorsi di bellezza oppure alle degustazioni di vino. Il famoso critico di vini Robert Parker, per esempio, assegna un punteggio tra 50 e 100 ai vini che assaggia e recensisce. Altri usano una scala diversa, a volte con simboli invece che numeri. Quello che ci si può chiedere è quanto siano consistenti questi giudizi. Se un critico assegna a un vino 88 punti, che errore è associato a questa «misura»? Ripetendo lo stesso assaggio in cieco come varietà il punteggio? Rimarrà vicino a 88 o risulterà molto diverso?

Hodgson è anche un produttore di vino, e si chiedeva come mai il suo vino a volte vincesse una medaglia d'oro in un concorso mentre in un'altra competizione non veniva neanche menzionato. Dipendeva dalla variabilità delle bottiglie oppure dalla variabilità delle opinioni dei giudici?

Nella primavera 2003 Hodgson contatta il giudice capo della più antica e importante manifestazione vinicola della California proponendo un'analisi indipendente dell'affidabilità dei suoi valutatori, tutti selezionati tra produttori di vino, commercianti, critici professionisti, professori di enologia e viticoltura o giornalisti del settore. Dal 2005 al 2008 sono stati esaminati tra 65 e 70 giudici ogni anno. In ogni sessione di assaggi in cieco ogni giudice riceveva 30 vini. Alcuni di questi però erano campioni in triplice copia versati dalla stessa bottiglia. Hodgson voleva misurare la consistenza dei giudici: la capacità di replicare i loro punteggi assaggiando lo stesso vino. Questa, sostiene Hodgson, è una sorta di misurazione dell'«errore sperimentale» del giudice.

I risultati sono stati inaspettati. Tipicamente i giudizi sullo stesso vino, da parte dello stesso assaggiatore, variavano di più o meno 4 punti, su 20 disponibili. Ma solo un giudice su dieci è stato sempre consistente, replicando tutti i giudizi con una deviazione massima di più o meno 2 punti. All'estremo opposto, il 10 per cento dei giudici ha mostrato variazioni di 12 punti. Nel 18 per cento dei casi i giudici hanno replicato il loro giudizio, ma è avvenuto tipicamente con vini a basso punteggio. In altre parole, i giudici sono stati consistenti nell'apprezzamento negativo.



Come sarà? Un produttore assaggia il vino rosso della sua cantina. La variabilità di giudizio degli assaggiatori professionisti è più elevata per i vini bianchi che per quelli rossi.

Risultati simili sono stati trovati da Richard Gawel e Peter Godden, due ricercatori australiani che nel 2008 hanno analizzato i dati provenienti da 15 anni di degustazioni di 571 esperti assaggiatori, rilevando una grande variabilità nella capacità degli assaggiatori di dare giudizi consistenti: solo il 30 per cento degli assaggiatori ha mostrato una consistenza sufficiente. Lo studio, pubblicato sull'«Australian Journal of Grape and Wine Research», ha anche evidenziato che gli assaggiatori hanno più difficoltà a riprodurre i propri giudizi per i vini bianchi rispetto a quelli rossi, rispetto a cui gli assaggiatori sono più coerenti nei loro giudizi.

Ora Hodgson collabora con la fiera vinicola della California per migliorare la coerenza dei suoi giudici.

Loule Pshoyos/Corbis

Le galassie nane e la rete oscura

di Noam I. Libeskind

Secondo le teorie della formazione delle galassie, la Via Lattea dovrebbe essere circondata da un alone sferico di piccole galassie satellite, ma le poche osservate finora sono disposte in maniera differente. Nuove simulazioni suggeriscono ora che potrebbero aver raggiunto le loro orbite attuali seguendo «autostrade» di materia oscura che si estendono in tutto l'universo.

Le rocce più antiche della Terra

di Carl Zimmer

Alcune rocce scoperte in Canada potrebbero essere le più antiche mai ritrovate. Se la datazione stabilita dagli scopritori sarà confermata – 4,4 miliardi di anni – potrebbero rivelare come si sviluppò la superficie terrestre, quando si formarono gli oceani e quanto tempo dopo cominciò a emergere la vita.

Il nuovo secolo del cervello

di Rafael Yuste e George M. Church

Capire il funzionamento del cervello umano e il modo in cui elabora pensieri ed emozioni è una delle più grandi sfide della ricerca contemporanea. Per analizzare l'attività dei circuiti neurali servono però nuovi strumenti, che potrebbero arrivare da due grandi progetti, uno europeo e uno statunitense, varati lo scorso anno.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso,
via Cristoforo Colombo 98, 00147 Roma.

Stampa
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
Copertina: Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - marzo 2014

Copyright © 2013 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guteri; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Andrea Capocci: *Il trucco del filo;* Silvio Ferraresi: *Memorie prodigiose;* Roberta Fulci: *Mai dire mai;* Valeria L. Gili: *La lunga, lenta ascesa di solare ed eolico;* Daniele Gewurz: *Il dilemma del protone;* Michelle Nebiolo: *Mind games, videogiochi a scuola*; Cristina Serra: *Una strategia esotica per domare il cancro;* Alfredo Tutino: *Cervello(ni) di gallina.*

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7647 del 18/12/2013

Cortesia American Museum of Natural History (*galassie*); Brian Christie (*cervelli*)